

財団法人 若狭湾エネルギー研究センター
The Wakasa Wan Energy Research Center

年 報

平成 21 年度 第 12 卷

Annual Report of The Wakasa Wan Energy Research Center

Vol.12 2009



目次	3
1. ごあいさつ	5
2. 加速器施設と科学機器設備	6
2. 1. 加速器施設	6
2. 2. 科学機器設備	6
2. 3. 加速器周辺の科学機器設備	8
3. 職員・研究員	9
4. 成果	11
4. 1. 加速器関連研究開発	11
4. 1. 1. 若狭湾エネルギー研究センター加速器施設の現状	12
4. 1. 2. 財団法人若狭湾エネルギー研究センター 平成21年度放射線管理報告	13
4. 1. 3. シンクロトロン真空システムの改善	14
4. 1. 4. シンクロトロン加速 RF 制御系の放射線障害対策と開発計画	16
4. 1. 5. SF6 ガスの完全回収装置	17
4. 1. 6. 半導体の点欠陥極高感度検出に用いる連続波超伝導加速器を用いた陽電子ビーム発生法	18
4. 1. 7. 実用型超伝導加速器の開発研究	19
4. 2. 粒子線医療研究開発	20
4. 2. 1. 若狭湾エネルギー研究センターにおける陽子線がん治療臨床研究	21
4. 2. 2. スキャニング照射対応線量モニターシステムの構築	23
4. 2. 3. 加速器を用いた生物実験用低エネルギー中性子照射場の開発	25
4. 3. 品種改良育種関連研究開発	26
4. 3. 1. 陽子線が生体内で引き起こす損傷の分布とDNA への効果	27
4. 3. 2. カーボンナノチューブ修飾電極上での色素依存性脱水素酵素の電気化学挙動	29
4. 3. 3. イオンビーム照射によるエタノール発酵糸状菌変異株の構築	31
4. 3. 4. 陽子線がん治療における低線量被ばくによる正常組織反応の機構解明	33
4. 3. 5. イオンビーム照射によるトランスポゾン移動メカニズムの解明	34
4. 3. 6. 花卉園芸植物へのイオンビーム照射による新品種の育成	34
4. 3. 7. イオンビームによる植物工場用野菜の新品種開発	35
4. 3. 8. 活性汚泥からのリン資源回収に用いる微生物の研究開発	35
4. 3. 9. 木質バイオマスからのエネルギー生産研究	36
4. 3. 10. 二酸化炭素の光還元による固定化と有用物質生産	36
4. 3. 11. ルチンとタンパク質の化学的相互作用による抗酸化性変化	37
4. 3. 12. 電子スピン共鳴(ESR)装置を利用した共同研究	38
4. 4. 分析・照射・物質創成研究開発	40
4. 4. 1. フッ素含有材料からの歯質への長期フッ素取込み量	41
4. 4. 2. 核共鳴後方散乱を利用した注入炭素イオンの深さ方向濃度分布の評価	42
4. 4. 3. TOF-ERDA による Li 化合物の分析	43
4. 4. 4. 茶葉中アルミニウムのマッピング	44
4. 4. 5. イオン注入による鉄白金系薄膜磁石の磁気特性の改良	46
4. 4. 6. 組成分析と画像撮影機能を持つ可搬型 X 線分析装置の開発	48

4. 4. 7. 無機酸化物光機能材料の開発	49
4. 4. 8. 機能性酸化物粉末の分光分析	49
4. 4. 9. 廃熱を電気に変える熱電材料の局所構造観察と高性能化	50
4. 4. 10. イオンビーム手法を用いて室温形成されたナノ材料の精密構造解析	50
4. 4. 11. 高分子・化学系アクチュエータの複合電極材創製と作動特性に関するイオンビーム照射効果	51
4. 4. 12. 高分子薄膜アクチュエータの創製	51
4. 4. 13. 加速器照射による中性子照射スエリング予測研究	52
4. 4. 14. 半導体鉄シリサイド薄膜創製研究	52
4. 4. 15. 透過型電子顕微鏡を利用した共同研究(企業編)	53
4. 4. 16. 透過型電子顕微鏡を利用した共同研究(大学編)	55
4. 4. 17. 透過型電子顕微鏡を利用した共同研究(JAEA 編)	59
4. 5. エネルギー開発研究	60
4. 5. 1. 水素分離(不純物)装置の基礎試験を含む調査(IV)	61
4. 5. 2. 気泡駆動型循環式ヒートパイプによる熱輸送	63
4. 5. 3. 化学反応を用いた蓄熱サイクルの開発	64
4. 5. 4. 太陽熱エネルギー利用研究と太陽炉	66
4. 5. 5. 太陽熱エネルギー利用による熱交換器設計要素技術の検証試験	68
4. 5. 6. 太陽熱駆動スターリングエンジン発電システムの開発	70
4. 5. 7. 若狭湾における海洋環境モニタリングシステムに関する調査研究	71
4. 5. 8. もんじゅ周辺海域リアルタイム流況観測に関する調査	74
4. 5. 9. 放射分析によるズワイガニの外骨格年齢	75
4. 5. 10. 機械的及び熱的切断による解体粉じん挙動データ取得・調査	78
4. 5. 11. FEL等レーザーを用いた原子炉1次系の除染	79
4. 5. 12. 安価なレーザーを用いたRI除染の可能性試験調査	80
4. 5. 13. 樹脂製球面ミラーを用いた太陽集光器を用いたスターリングエンジン発電機	81
4. 5. 14. 太陽集光器と人工光源を併用した植物工場用複合光源	82
4. 6. 産業・技術・研究支援事業	83
4. 7. 施設利用状況	108
4. 7. 1. 見学者数	108
4. 7. 2. 会議室等施設利用状況	108
4. 7. 3. 分析装置等科学機器の利用状況	108
4. 7. 4. 加速器の利用状況	108
5. 公開發表一覧	109
5. 1. 査読付き論文発表	109
5. 2. 特許、品種登録	111
5. 3. 科研費取得状況	112
5. 4. 最近の査読付き論文、学会発表、特許と品種登録の傾向	112

1. ごあいさつ

年報第 12 巻は、財団法人若狭湾エネルギー研究センター(WERC)が平成 21 年度において行った研究・活動をまとめたものです。本年報は、当センターの研究活動の全貌を見ていただくことを目的として編纂したものです。成果報告のいくつかを見ますと、

- (1) 加速器技術としては、平成 12 年 7 月の運用開始以来 11 年目を迎えた加速器施設の現状をはじめに紹介しています。シンクロトロン真空システムの改善などの報告と、供給可能な重イオンビームの増加についての提案、SF₆ ガスの完全回収装置の提案などを行っています。
- (2) 粒子線医療開発研究は、平成 21 年 11 月の臨床照射終了までに前立腺がん、肝細胞がん、非小細胞肺癌の患者、計 62 名に対して陽子線照射を実施しました。この WERC での成果を活かし、福井県立病院で、陽子線がん治療センターを建設中です。今年度末の運転開始を目指して順調に進んでいます。WERC では、治療の基礎的な知見の蓄積を目指した研究を続けており、その成果が今号に載せられています。
- (3) 品種改良育種関係では、陽子線が生体内で引き起こす損傷の分布と DNA への効果に関する研究や、イオンビーム照射によるエタノール発酵糸状菌変異株の構築や、レタスの品種改良や植物工場に適した野菜の新品種開発、などについて成果を挙げています。木質バイオマスからのエネルギーの生産や二酸化炭素の光還元による固定化と有用物質生産も進めています。
- (4) 分析・照射・物質創成では、核共鳴後方散乱を利用した注入炭素イオンの深さ方向濃度分布評価を行いました。歯の中のフッ素や、リチウムイオン電池材料のリチウムの分析法などの研究も行いました。ポータブル蛍光 X 線分析装置の開発にも成功しています。機能性酸化物粉末の分光分析や無機酸化物光機能材料の開発研究を遂行しています。イオン注入による鉄—白金系薄膜磁石の磁気特性の改良を実現しました。イオンビームにより、機能性に優れた半導体鉄—シリサイド薄膜を形成することができました。
- (5) エネルギー開発研究では、気泡駆動型循環式ヒートパイプによる熱輸送の成果もあげています。太陽エネルギー利用による 2000℃に及ぶ高温炉、太陽熱駆動スターリングエンジン発電システムの開発の報告をしています。また、若狭湾における海洋環境の調査研究と放射性同位元素分析によるズワイガニの外骨格年齢測定において成果が得られています。原子炉解体粉塵の抑制に関する研究などについて、その進捗状況等を記載しています。

これらの研究活動に加え、当センターの設備・機器の利用状況の概要およびセンターでの産業・技術・研究支援事業も掲載しました。また、巻末にはセンター職員が前報告集以後に学会等に投稿、出版した論文のリストおよびその他の報告会等の記録も掲載しましたので、参考にいただければ幸いです。

平成 21 年度において、活発な研究・活動等を行うことができましたことは、ひとえに皆様方のご支援とご指導によるものであり、厚くお礼申し上げます。職員一同、これまで以上に努力を重ねてまいり所存ですので、今後ともなお一層のご指導、ご鞭撻をお願い申し上げます。

平成 22 年 10 月

財団法人 若狭湾エネルギー研究センター
所長 小林紘二郎

2. 加速器施設と科学機器設備

2. 1. 加速器施設

下の図1に示される若狭湾エネルギー研究センターの加速器システムは、5MVタンデム加速器を入射器として用い、主加速器として周長30mのシンクロトロンで2段階で加速する。陽子で200MeV、炭素イオンで660MeVまで加速できる加速器システムである。シンクロトロンまで加速されたビームは照射室3と4で実験などに利用することができる。タンデム加速器は単独でも利用可能で、負イオン源で生成可能な種々の軽イオンから重イオンまでの負イオンからタンデム加速器ではぎ取ることのできる電子数と発生電圧の積となる最終エネルギーまで加速できる。通常陽子で10MeVで炭素で20MeV程度以上となる。タンデム加速器からのビームは照射室1と2で実験などに利用することができる。

タンデムとシンクロトロンとは独立に、大電流の200kVのマイクロ波正イオン源イオン注入装置を設置している。ほぼ周期律表のすべての元素のイオン種を原理的に加速可能である。通常利用している気体で入手しやすい10種類程度の元素以外にも電気炉を装備しているので低融点の金属などの元素イオンを加速することが可能である。表面改質など多くの産業応用等がこの200kVマイクロ波正イオン源イオン注入装置で広く利用されている。



図1、若狭湾エネルギー研究センターの加速器システム鳥瞰図。

2. 2. 科学機器設備

加速器以外での科学機器設備の名称・略名、設置された実験室、メーカー名、型番等を以下に一覧表としてまとめる。

- 1) 誘導結合高周波プラズマ質量分析装置 ICP-MS、実験室 1、日本電子(株)、JMS-Plasma X2
- 2) 誘導結合高周波プラズマ発光分光装置 ICP-AES、実験室 1、パーキンエルマー、Optima3300RL
- 3) 高分解能質量分析装置 GC-MS、実験室 2、日本電子(株)、JMS-700
- 4) 電子スピン共鳴装置 ESR、実験室 2、日本電子(株)、JES-TE300
- 5) フーリエ変換ラマン分光光度計 FT-RAMAN、実験室 2、パーキンエルマー、Spectrum2000
- 6) フーリエ変換赤外分光光度計 FT-IR、パーキンエルマー、Spectrum2000

- 7) 蛍光分光分析装置・蛍光分光、実験室 2、(株)日立製作所、F-4500
- 8) 化学物質精密定量分析システム・HPLC、実験室 2、東ソー(株)、DP-8200
- 9) 高速液体クロマトグラフ質量分析装置・LC-MS、実験室 2、Waters、2695,2966
- 10) 原子吸光分光光度計・原子吸光、実験室 2、パーキンエルマー、SIMAA6000
- 11) 固体用核磁気共鳴装置・固体 NMR、実験室 3、日本電子(株)、JNN-CXM400
- 12) フーリエ変換核磁気共鳴装置・NMR、実験室 3、日本電子(株)、JNM-ECP600
- 13) タンパク質・ミセル超微粒子分析システム、実験室 4、大塚電子(株)、DLS-7000PH
- 14) タンパク質・ペプチド最終精製システム、実験室 4、アマシャムファルマシオバイオテック(株)、AKT AEPLOERIOS
- 15) 自動細胞分離解析システム、実験室 4、ベクトンディッキンソン(株)、FACC CAIBUR
- 16) マイクロプレートリーダーシステム、実験室 4、日本モレキュラーデバイス、SpectraMAX Plus
- 17) プロテインシーケンサ、実験室 4、パーキンエルマー、494CLC
- 18) ゲル解析装置、実験室 4、ジェノミックソリューション、GelPrint2000/VGABOX
- 19) 生物用倒立型顕微鏡システム、実験室 4、オリンパス光学工業(株)、IX70-22FL/PH
- 20) 蛍光顕微鏡画像解析システム、実験室 4、オリンパス光学工業(株)、FV300-P-BX51BGR-SP
- 21) 遺伝子解析装置・遺伝子解析、実験室 4、パーキンエルマー、ABI PRISM377・877
- 22) DNA シーケンサ・DNA シーケンサ、実験室 5、パーキンエルマー、ABI PRISM310-7700
- 23) DNA シークエンス入力解析システム、実験室 5、宝酒造(株)、DNASIS-MAC
- 24) 卓上型超遠心機システム、実験室 5、ベックマン・コールター(株)
- 25) ハイブリダイゼーションシステム、実験室 5、ストラジン他、VS-410-30 他
- 26) エレクトロポレーションシステム、実験室 5、バイオラッド他、Gene Pulser II 他
- 27) 全自動核酸抽出精製システム、実験室 5、宝酒造(株)、TA-100
- 28) Non-RI 画像解析システム、実験室 5、富士写真フイルム(株)、LAS-1000PLUS
- 29) 生物用倒立型顕微鏡システム、実験室 5、オリンパス光学工業(株)、IX70-22FL/PH
- 30) 多目的表面改質装置・マクロン、実験室 6、(株)日立製作所
- 31) 微小領域エックス線回折装置・X 線回折、実験室 7、(株)リガク、PSC-MDG2000
- 32) 二次イオン質量分析装置・SIMS、実験室 7、CAMECA、IMA-6f
- 33) 電子プローブマイクロアナライザー装置・EPMA、実験室 8、日本電子(株)、JXA-8900RL
- 34) 走査電子顕微鏡装置・SEM、実験室 8、日本電子(株)、JSM-6340F
- 35) オージェ電子分光装置・AES、実験室 8、日本電子(株)、JAMP-7810
- 36) 触針材表面形状測定器・DEKTAK 実験室 8、日本真空技術(株)、DEKTAK3ST
- 37) 集束イオンビーム装置・FIB、実験室 9、日本電子(株)、JEM-939FIB
- 38) 薄膜物性評価装置、実験室 9、NEC 三栄(株)、MH4000
- 39) 原子間力顕微鏡・AFM、実験室 9、日本電子(株)、JSPM-5200
- 40) 超高分解能高圧分析電子顕微鏡装置・TEM、実験室 10、日本電子(株)、JEM-3000F
- 41) ソリッドクリエーションシステム・ソリッドクリエーション、試料作成室、(株)ティーメック、SCS-300P
- 42) 遺伝子発現解析システム、実験室 11、アプライドバイオシステム(株)、3100
- 43) 高分子結合状態解析システム、実験室 A・B、XPS、日本電子(株)、JPS-9010MC
- 44) 赤外線加熱装置・赤外線加熱炉、実験室 A・B、アルバック理工(株)、VHC-P610 CP-S
- 45) 自動エリプソメーター・エリプソメーター、実験室 A・B、(株)溝尻工学工業所、DVA-36VW-UVIR
- 46) 超薄膜スクラッチ試験機・スクラッチ試験機、実験室 A・B、RHESCA 社、CSR-O2A
- 47) 粒径分布測定装置、実験室 A・B、(株)日本精機製作所、UPA150
- 48) チューナブルレーザー、実験室 A・B、B.M.Industries、Nd:YAG レーザー
- 49) デジタル型高密度顕微鏡、実験室 A・B、(株)キーエンス、VH-7000
- 50) 高品位画像出力システム、研究室 10、日本ポラロイド(株)、PP835W
- 51) デジタル CCD カメラ、研究室 18、浜松ホトニクス(株)、C4880-10-14A
- 52) 植物育成室、屋外、(株)服部商会/F
- 53) 遺伝子導入解析システム(電気泳動装置・パーティクルガン・ルミノメーター)、実験室 5・11
- 54) 走査電子顕微鏡装置(低真空型)・LV-SEM、実習室 1、日本電子(株)
- 55) 薄膜硬度測定装置、実習室 1、エリオニクス
- 56) 液体シンチレーション測定装置・液シンチ、放射実験室 1、アロカ(株)、LSC-LB5
- 57) バイオイメージングアナライザー・バイオイメージ、放射実験室 1、富士写真フイルム(株)、BAS-5000

58) ラジカル装置、放射実験室1、日本電子(株)、JES-FR30EX-WC

2. 3. 加速器周辺の科学機器設備

加速器周辺の科学機器設備を一覧表として以下にまとめる。加速器周辺の科学機器設備の名称、実験室、メーカー名などを以下に記述する。

1) マイクロ波イオン源イオン注入装置	照射室1、	(株)日立製作所
2) 元素分析・結晶構造解析コース用装置	照射室1、	(株)日立製作所
3) 物性分析コース用装置	照射室1、	(株)日立製作所
4) 生物照射コース用装置(中エネルギー)	照射室2、	(株)日立製作所
5) イオン分析コース(中エネルギー)	照射室2、	(株)日立製作所
6) イオン注入装置(中エネルギー)	照射室2、	(株)日立製作所
7) 陽子線がん治療研究装置	照射室3、	(株)日立製作所
8) 生物照射コース用装置(高エネルギー)	照射室4、	(株)日立製作所

3. 職員・研究員

平成21年10月1日現在での財団法人若狭湾エネルギー研究センターの組織と職員・研究員を以下に列記する。

理事長 旭 信昭
専務理事 来馬克美
事務局長 安部 寛

企画管理部	部長			安田 博
企画グループ	主任	Grリーダー		牧 信男
		主査		中村 暁
		(兼)主査		山口龍史

管理グループ	主任	Grリーダー		石原政和
		(兼)主任		角田憲之
		主査		山口龍史
		主事		嶋津充紘
		主事		榊原陽子

エネルギー研究開発
拠点化推進組織所長
横山 隆

所長代理	三木安孝
次長補佐	光川英雄

産学官連携チーム	
チーフマネージャー	中川祐司
マネージャー	篠田佳彦
マネージャー	角田憲之
マネージャー	山口健志
技術活用コーディネータ	祝 一裕

技術支援・相談チーム	
チーフマネージャー	黒瀬直樹
マネージャー	中尾治生
(兼)	笹瀬雅人
(兼)	遠藤伸之
嘱託	長友仁郎

人材育成・交流チーム	
チーフマネージャー	楠木 敦
マネージャー	畠中 透
マネージャー	松田直樹

所長	小林紘二郎
----	-------

研究開発部	部長	峰原英介
-------	----	------

粒子線医療研究室室長	山本和高
主任研究員	丸山市郎

主任研究員 研究員	久米 恭 高田卓志
エネルギー材料グループ 主査研究員 主査研究員 嘱託	安田啓介 石神龍哉 チウルーンハートル ハトチウルーン
生物資源グループ 主任研究員 Gr リーダー 主任研究員 主任研究員 主査研究員	高城啓一 田中良和 畑下昌範 遠藤伸之
エネルギー開発グループ 主幹研究員 Gr リーダー 主幹研究員 主任研究員 主査研究員 主査研究員 嘱託	天田健一 鳥取章二 笹瀬雅人 小野真宏 西尾 繁 重田達雄
加速器グループ (兼)Gr リーダー(事務取扱) 主任研究員 主査研究員 嘱託 加速器運転員 加速器運転員 加速器運転員 加速器運転員 加速器運転員 加速器運転員 加速器運転員 加速器運転員 加速器運転員 加速器運転員	峰原英介 羽鳥 聡 栗田哲郎 山本久雄 林 豊 山田裕章 小田桐哲也 島田麻亜久 香川弘成 中田吉則 山口文良 淀瀬雅夫 長崎真也

4. 成果

4. 1. 加速器関連研究開発

4.1.1. 若狭湾エネルギー研究センター加速器施設の現状

Current Status of the Accelerator Facility at the WERC

羽鳥聡^{*1}、栗田哲郎^{*1}、林豊^{*1}、山田裕章^{*1}、島田麻亜久^{*1}、小田桐哲也^{*1}、中田吉則^{*1}、山口文良^{*1}
 淀瀬雅夫^{*1}、長崎真也^{*1}、香川弘成^{*1}、山本久雄^{*1}、峰原英介^{*1}、福本貞義^{*}

Satoshi HATORI, Tetsuro KURITA, Yutaka HAYASHI, Hiroaki YAMADA, Mark SHIMADA
 Tetsuya ODAGIRI, Yoshinori NAKATA, Fumiyoshi YAMAGUCHI, Masao YODOSE, Shinya NAGASAKI
 Hiroshige KAGAWA, Hisao YAMAMOTO, Eisuke J. MINEHARA and Sadayoshi FUKUMOTO

2000 年より実験研究にビーム供給をはじめた若狭湾エネルギー研究センター加速器施設は 10 年という節目を迎えた。この 10 年間、加速器施設はがん治療のための臨床照射研究という大きな目標があった。2002 年から 2009 年 11 月までに 62 人の治療照射を行った。加速器の利用目的はがん治療にとどまらないため、加速器の保守・運転体制を少しずつ拡充し、一日を複数の研究テーマでシェアし、タンデム加速器の総発電時間は年間 4000 時間を越えるまでになってきた。臨床照射は 2009 年度で終了し、福井県立病院に新設される施設に舞台を移す。2010 年は新たな 10 年の始まりの年であり、研究テーマにも変化が期待される。具体的には炭素ビームなどの重イオン加速の要求が高まりつつある。

シンクロトロンでの重イオン加速の効率をあげるためには、まず、入射エネルギーを高くすることが重要である。運動学的収束に加え、フルストリップイオンの収率を向上させるためである。しかし、2008 年、2009 年にタンデム加速器のシェンケルコラムの絶縁性能が劣化し、昇圧に問題が生じた。加速電圧を復活させるために 2010 年度末にコラムサポートの総取り替えを計画している。

重イオン加速にむけてシンクロトロンの真空排気能力を向上させる試みも行った。この開発については稿を割き詳細に報告する。

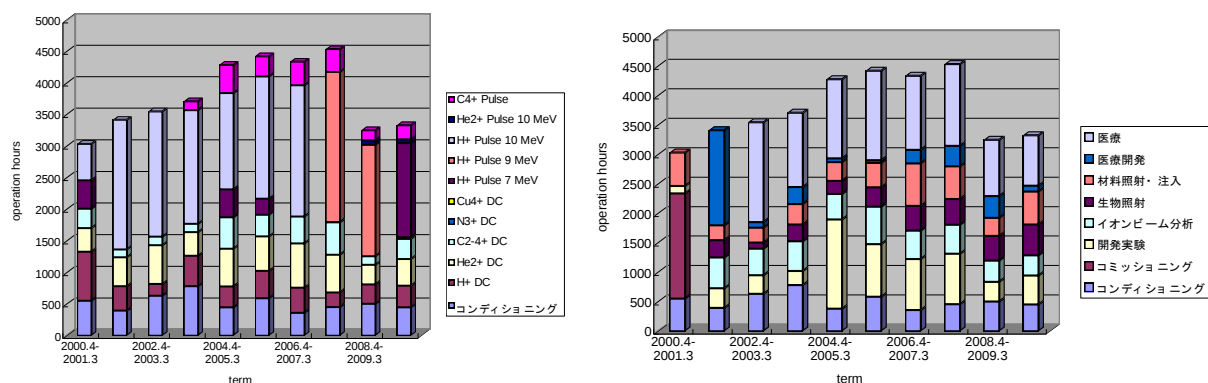


図1 タンデム運転時間の 10 年間の推移

^{*1} 研究開発部 加速器グループ

4.1.2.財団法人若狭湾エネルギー研究センター 平成21年度放射線管理報告

山本久雄*1、仲野義信、菅野慶人

Hisao YAMAMOTO, Yosinobu NAKANO and Yosito SUGANO

平成21年度の放射線管理は、以下の表の項目と内容で実施し、すべての項目について、適切に処理された。

なお放射線業務従事者数は、職員44人、外部研究員等176人で放射線管理教育人数は、職員45人、外部研究員等175人である。

項 目	内 容
官庁検査	放射線障害防止法第12条の規定による放射性同位元素および放射線発生装置の使用施設に対する「定期検査」、「定期確認」の受験。 平成21年9月29日、30日に受験し合格した。
官庁報告	放射線障害防止法第42条に基づき、文部科学大臣宛「放射線管理状況報告書」を提出した。 (従事者数、被ばく線量、放射性同位元素の保管量、放射性廃棄物の量の報告)
放射線測定	線量当量、線量当量率、表面汚染密度、空気中放射性物質濃度の測定を行い異常のないことを確認した。
環境試料の測定	敷地内の土壌、河川水を採取して核種分析、トリチウム測定を行い異常のないことを確認した。
放射性廃棄物の処理	放射性廃棄物については、専門業者である(社)日本アイソトープ協会へ引き渡した。
被ばく線量の測定	ガラスバッジにより1回／月の頻度で放射線業務従事者の被ばく線量を測定し中央登録センターへ結果を送付するとともに各個人へ通知した。
放射線管理設備の維持管理	定期的に動作確認、校正を行い正常に動くことを確認した。

*1研究開発部 加速器グループ

4.1.3. シンクロトロン真空システムの改善

Improvements of Vacuum System for the Synchrotron

栗田哲郎*、羽鳥聡*、福本貞義*、林豊*、香川弘成*、長崎真也*、中田吉則*、小田桐哲也*、島田麻重久*、山田裕章*、山口文良*、淀瀬雅夫*、峰原英介*

Tetsuro KURITA, Satoshi HATORI, Sadayoshi FUKUMOTO, Yutaka HAYASHI, Hironari KAGAWA
Shinya NAGASAKI, Yoshinori NAKATA, Tetsuya ODAGIRI, Mark SHIMADA, Hiroaki YAMADA,
Fumiyoshi YAMAGUCHI, Masao YODOSE, and Eisuke MINEHARA

Abstract

The average vacuum pressure of the synchrotron at WERC was about 8.6×10^{-6} Pa. This vacuum was not enough for the acceleration of C^{6+} beam and had caused beam loss at the beginning of the acceleration. We performed exchanging two of ion pumps for cryopumps, exchanging material of O-rings, and baking chambers to decrease the pressure of the ring. As a result, we success to increase carbon beam current.

要約

若狭湾エネルギー研究センターの加速器施設のシンクロトロンの真空度は、建設当初より平均 8.6×10^{-6} Pa 程度あった。炭素イオンの加速の際には、真空度が十分ではなく、ビームロスの原因となっていると考えられる。そこで、一部のイオンポンプをクライオポンプに交換、シール材の変更、ベーキングにより真空度を向上させ、炭素ビームを増やすことに成功した。

I. 緒言

シンクロトロンの真空系は、建設当初より11 台のイオンポンプ(140L/min)と 2 台のターボ分子ポンプ(700L/min)によって構成されており、平均真空度は、 8.6×10^{-6} Pa 程度であった。炭素イオンの加速の際には真空度が十分ではなく、残留ガスとの衝突による荷電交換が、ビームロスの原因になっていると考えている。

図-1 に C^{6+} を 20MeV から 660MeV まで加速したときの、リング内の電荷の変化を示す。加速初期で大きくビームをロスしている。

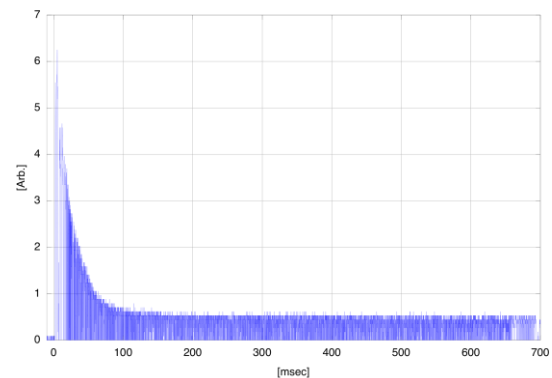


図-1 : C^{6+} 20MeV を 660MeV まで加速したときのリング内の電荷の変化

II. 真空度のビームロスへの影響

真空のビームへの影響を評価する為に、荷電変換によって決まるビームのライフタイム τ を表す次の経験式¹⁾を用いた。

$$\tau = \frac{1.04 \times 10^{-27}}{(\sigma_c + \sigma_L) \beta P} \quad [\text{sec}]$$

$$\sigma_c = 6.55 \times 10^{-28} q^3 \beta^{-6} \quad [\text{cm}^2]$$

$$\sigma_L = 5.22 \times 10^{-23} (Z - q) \beta^{-2} (3.13 \times 10^5 q^{-2} - \beta^{-2}) \quad [\text{cm}^2]$$

ここで、 σ_c および σ_L は、electron capture および electron loss の断面積である。P[Torr] は真空度である。

この式を使い、いくつかの真空度に対して加速に従って生き残るビームの割合のシミュレーションをおこなった (図-2)。現状の真空度 8.6×10^{-6} Pa の場合は 20MeV 入射の場合は 48%程

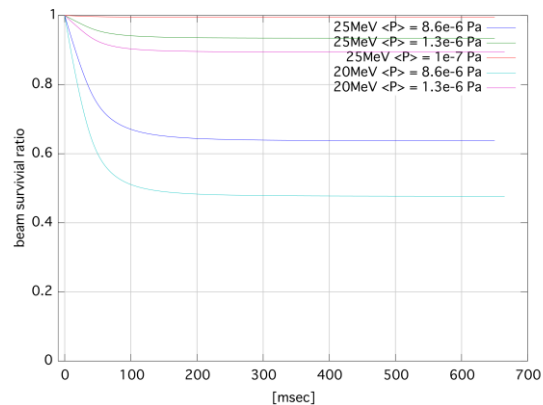


図-2 : C^{6+} 20MeV もしくは 25MeV を 660MeV まで加速した時の、残留ガスとの荷電変換によるビームロスのシミュレーション

*研究開発部 加速器グループ

度までビームをロスする結果になった。したがって、真空度が炭素ビームの加速初期のビームロスの大きな原因になっていると考えられる。そこで、 1×10^{-6} Pa 程度を目標に、真空度を向上させる対策を行った。

III. 真空度向上の施策

図-3 に対策前後の真空度分布を示す。4つのイオンゲージの測定値とイオンポンプの電流量より評価された真空度をプロットした。ビームの入出射部分(ESI/ESDチャンバー)には、700L/minのターボ分子ポンプで排気が行われているにも関わらず、もっとも真空度が悪い。全体の真空度悪化の原因になっていると考えられる。ESI/ESDチャンバーは静電セプトラム電極およびそれに関連した機器のため内面積が大きい。また、O-ringとして耐放射線性は高いが。アウトガスの多いニトリルゴムが使用されていた。そこで、真空度向上の為に以下の対策を行った。

- O-ring 材質の変更
 - ニトリルゴムから耐放射線性の高いバイトンである日本バルカーD0675²⁾に変更した。
- ポンプの増強
 - ESI/ESDチャンバーに設置されているイオンポンプ(140L/min)を、クライオポンプ(1400L/min)に置き換えた。
- ESI/ESDチャンバーのベーキング
 - O-ringシールなので110°C程度であるが、ベーキングを行った。

以上の処置の結果、シンクロトロンの平均真空度は 8.2×10^{-7} Paまで向上した。しかし、ビームラインに接続すると、ビームラインの真空度の影響で 1.3×10^{-6} Paまで悪化する。この真空度で、シミュレーション(図-2)によれば、真空度に起因するビームロスは25MeV入射の場合64%から95%まで、20MeV入射の場合48%から89%程度まで改善される。

IV. 真空度向上の効果

図-4に、真空改善後に C^{6+} を20MeVから660MeVまで加速した際のリング内の電荷を示す。図-1と比べて明らかなように、加速効率(捕獲電荷/加速電荷)が8%から39%大幅に改善した。

V. まとめ

シンクロトロンの真空排気系の増強を行い、真空度を改善した。その結果、 C^{6+} を20MeVで入射した場合の加速効率を大きく増やすことに成功した。しかし、実際に加速器から出射できる電流量は放射線管理の許可申請により、0.2nAに制限されており、加速器の性能を有効に発揮できない。変更許可申請を行い、現在の厳しすぎる制限を、現実に即した物に変更する必要がある。

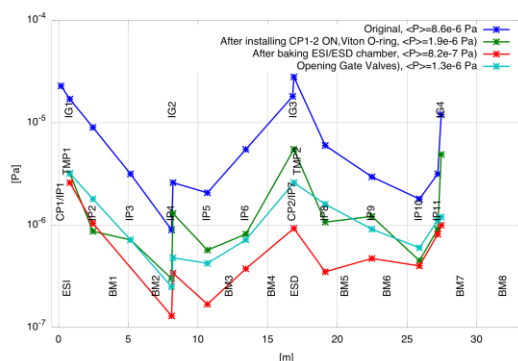


図-3：シンクロトロン内の真空度分布

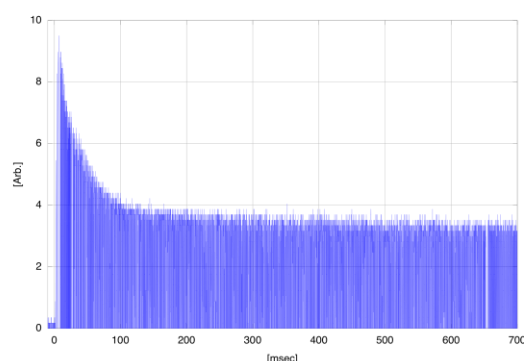


図-4：真空改善後に C^{6+} 20MeVを660MeVまで加速したときのリング内の電荷の変化

参考文献

- 1) M. Kanazawa et al., “ACCELERATION OF MULTIPLE-CHARGED IONS AT HIMAC” EPAC 98 Proceedings (1998) 535
- 2) 圓尾一司, “ゴムシール材の耐放射線性”, バルカーレビュー, 39, p10, 1995

4.1.4. シンクロトロン加速 RF 制御系の放射線障害対策と開発計画

A Plan of Upgrade of LLRF of the Synchrotron

栗田哲郎*

Tetsuro KURITA

図-1 に W-MAST のシンクロトロン加速高周波の制御系の概念図を示す。加速 RF の基準周波数は、リングの内側に設置されている Direct Digital Synthesizer (DDS) から出力される。DDS の制御には Digital Signal Processor (DSP) が使用されている。これらと ISA バスリピータを介して接続されている PC がヒューマンインターフェースとなる。ビーム位置制御およびシンクロトロン振動の抑制のためのフィードバック信号は VCO によって周波数に変換され、加速 RF の基準周波数に足し合わされる。

現在、次のような問題を抱えている。

- DSP および DDS が放射線環境下に置かれているため、頻繁にエラーによる停止もしくは動作の異常が発生する。
- フィードバック信号が制御室から本体室まで搬送しており、その間でノイズが重畳する。このため、ビームフィードバックが動作していない捕獲中や出射中に不安定性がある。
- ハードウェアおよびソフトウェアが古く、メンテナンスおよび改良ができない。

DSP/DDS の放射線障害の対策として、これらを制御室に移し、放射線環境下から退避させた。制御室から本体室へ約 100m のケーブルを経由して信号の送受信を行う必要がある。このため信号の減衰およびノイズの混入を防ぐ為に、

- 低周波のアナログ信号は電圧を電流に変換してから伝送する。
- 高周波信号は制御室で増幅し、本体室で減衰させる。

など、長距離の伝送に対応する工夫を施してある。

DSP/DDS 移設を行ってから、週一回程度の頻度で発生した DSP の異常停止が 2 ヶ月間全く発生なくなり、顕著な効果が認められた。

現在、ハードウェアを更新し、フィードバック信号は、ADC で DSP で取り込み、DDS の出力に加算することを計画している。VCO というアナログデバイスを経由しないこと、フィードバック信号の長距離伝送を行わないことにより、周波数の安定性を向上できる。

将来的には、ビーム位置信号およびシンクロトン振動を ADC で DSP に入力し、フィードバック信号の演算を DSP 内で行うことも視野に入れている。また、現在独立している2倍高調波の制御系を統合することを検討している。

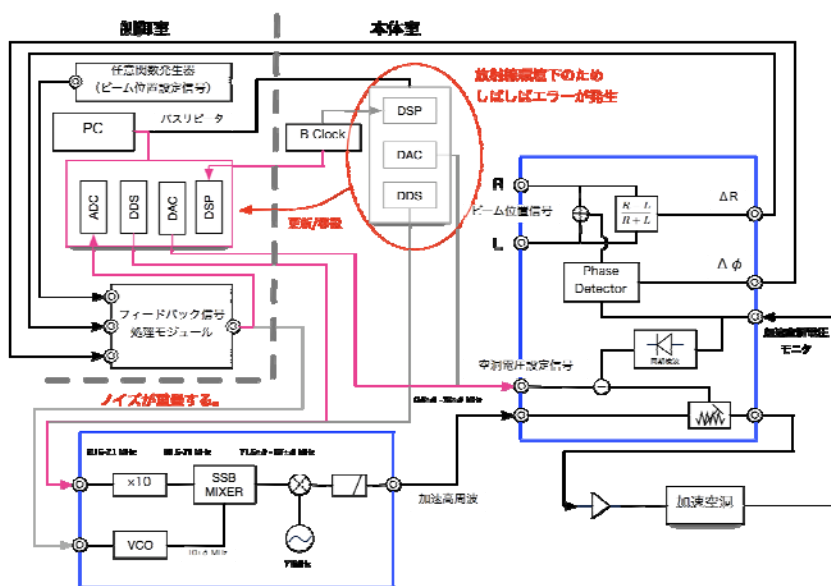


図-1：シンクロトロンの加速高周波制御系の概念図

* 研究開発部 加速器グループ

4.1.5.SF₆ ガスの完全回収装置

An SF₆ Gas Full Recovery System

峰原英介^{*1}

Eisuke J. MINEHARA

要旨 タンデム加速器等の圧力容器中のSF₆ガスは、通常の排気回収後にも、わずかに残留する。この残留ガスを低温に冷やした吸着材によって真空排気して、吸蔵して、完全に回収し、外部放出を無くして地球温暖化を阻止するとともに、吸着ガスを分留してSF₆を回収することによって回収されたSF₆ガスの不純物を減らしてSF₆ガスの絶縁性能を回復するSF₆完全回収装置を考案し、特許出願した。また試験を行い実機に相当する容量のSF₆ガスを実際に短時間で回収してその有効性を確認した。

内容

SF₆は、よく知られているように温暖化係数24000の極めて大きな温暖化寄与(炭酸ガス換算で2万4千倍の温暖化効果がある。)をする絶縁ガスである。広く発電所や変電所のガス絶縁切換機の消弧用ガスとして、また直流加速器の絶縁ガスとして広く用いられている。このSF₆完全回収装置を用いると今までの油回転ポンプと圧縮機の直列運転では回収しきれなかった加速器タンクなどに残留するSF₆を選択的に完全に回収できる。未回収分は基本的には無視できるほど桁違いに少ない。温暖化への悪い寄与を無くすることができる。また十分な吸着面積をタンク容量に応じて設置できるために短時間で低い真空度まで吸着材を選ぶことによって選択的に放出時に純度を悪くしないように吸着排気回収できる。吸着した凝縮性ガスは、分留することによってSF₆ガスの回収時の純度を改善し、絶縁性能を向上させることができる。

低温に冷却する方法は、安価には液体窒素が比較的高価なGM冷凍機などを使用して行う。吸着材温度を制御して分留すれば絶縁性能を損なう、水分を減らしてSF₆のみを蒸発回収させることができる。この回収容器は毎回使用し、毎回或いは断続的に昇温して通常の回収方法で回収することによって外部放出は厳密になる。

図1 低温吸着ポンプで吸着後の貯蔵タンクへの圧送方法手順と装置の説明。

通常の回収手順後に行う追加手順

1)最初残留ガスを低温吸着回収、2)2番目を分留して蒸発させ回収、3)分留したSF₆ガスを油回転ポンプ+圧縮機回収

要素名称①SF₆を使用する加速器タンク②油回転ポンプ③圧縮機④SF₆保存用タンク⑤1番吸着回収装置⑥2番吸着回収装置⑦3番吸着回収装置⑧差圧回収弁及び配管

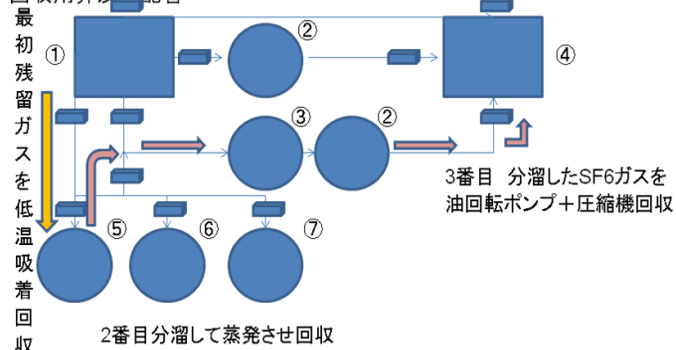


図2、GM 冷凍機 SF₆ ガス回収実験。

図1、SF₆ 完全回収装置の動作説明。

参考文献

[1]特許出願、名称「SF₆ 完全回収装置」。出願番号 2010-150405。

謝辞 本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが(株)ULVACクライオとの協力研究として実施した。ライオポンプをデモ用として提供くださった(株)ULVACクライオ殿に感謝いたします。

4.1.6. 半導体の点欠陥極高感度検出に用いる連続波超伝導加速器を用いた陽電子ビーム発生法に関する研究

A Continuous Wave Superconducting RF Linear Accelerator based Positron Generation for Investigating Point Defects in Semiconductor Chips using Positron Annihilation.

峰原英介*¹、ブライアン・オローケ*²、林崎規託*³

Eisuke J. MINEHARA*, Brian O'Rourke and Noriyosu HAYASHIZAKI

要約

超伝導加速器¹⁾を用いた陽電子ビーム発生法の研究を半導体の点欠陥極高感度検出などに用いるために行った。次世代LSI製造技術の隘路であるナノサブナノ域の極微細欠陥検知定量化などを唯一定量的に評価できる最先端陽電子ビーム計測性能限界を極限までの拡大するため、その機器性能の隘路であったパルスをやめ連続波(CW)のビーム発生を最適にできる超伝導加速器システムの開発研究を行った。併せてこれを産業利用可能で、安価で、使い易い、可搬型とする開発研究も行った。

I. 内容

超伝導加速器を用いて陽電子ビームを発生するための技術的な検討を行った。また、超伝導加速器を用いた陽電子発生システムの最適設計や、各種構成デバイスの実用的な仕様についてまとめた。JAEAのFEL用超伝導加速器システムを分解し、移設し、既設性能の確認後、高性能化した。冷凍機クライオスタットは内製化の主要な目標の一つである。冷凍機とクライオスタットの冷凍性能を 20%向上させた。冷却サイクルの適正化を行い、100%(1/2 に短縮)高能率化を行った。

II. 結果

陽電子発生部の仕様検討 と加速器の仕様検討 について開発を行い、成果を得た。これを学会等で一部報告した。冷凍機クライオスタットは内製化の主要な目標の一つである。冷凍能力は約 20%向上した。効率化は時間比較で 100%以上達成した。陽電子発生部の仕様検討 と加速器の仕様検討 について開発を行い、成果を得た。これを ARTA10 と原子力学会で一部報告した。最適化の方法その他については特許出願予定である。

III. AISTでの陽電子欠陥検出の応用研究の進展と超伝導加速器の必要な理由

共同研究先の産総研では、以下の議論が近年なされてきた。高機能材料開発やデバイスプロセス開発では、原子レベル～ナノレベルの構造を評価できる革新的な計測ツールが必要とされている。電子の反粒子である陽電子は、内部や表面の極微欠陥のサイズや電子状態等を精密に観測できる画期的なプローブとしての可能性があるが、従来は放射性同位元素から得られる陽電子を直接利用しており、この場合陽電子のエネルギーが広く分布し、高機能材料で重要な薄膜や表面近傍の観測が不可能だけでなく陽電子強度も低いため精密計測も困難であった。この問題を解決するため、電子加速器を用いて発生した高強度の低速陽電子ビームを材料計測に適した短パルス陽電子ビームにする技術を確認した。この短パルス陽電子ビームは、入射エネルギーを変えることによって表面近傍の数ナノメートルから数マイクロメートルの任意の深さに打ち込むことができる。さらに、この短パルス陽電子ビームを利用した陽電子寿命測定・寿命運動量相関測定・飛行時間型陽電子消滅励起オージェ電子分光法などの新しい測定法の開発に成功し、世界で初めて薄膜中のナノ空孔の陽電子寿命測定に成功するなど世界の陽電子ビームを用いた材料評価研究を先導してきた。

また、この材料評価技術をベースとして産業界との共同研究を積極的に行ってきた。企業と共同で行った次世代半導体 LSI 用の低誘電率絶縁膜の研究では、陽電子ビームを用いた評価結果を元に製造プロセスについて新しい方法を提案するなど、開発した材料評価技術の材料開発への応用を進めてきた。さらに、陽電子ビームを用いた材料評価技術を普及させるため、すでに陽電子ビーム利用材料評価コンソーシアムを立ち上げ、さらなる産業界への貢献を目指している。この技術を桁違いに精度を上げるためには、隘路となる偶発同時事象を低くするために短パルスを平均的に連続波で生成することが必要となる。このため連続波加速可能な超伝導加速器が不可欠となる。

参考文献

1) E. J. Minehara et al.: Development and Operation of the JAERI superconducting Energy Recovery Linacs, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A557(2006) 16-22.

*¹研究開発部、*²(独)産業技術総合研究所、*³東京工業大学

本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが(独)産業技術総合研究所と東京工業大学との共同研究として実施した。

4.1.7. 実用型超伝導加速器の開発研究

A Compact Superconducting RF Linear Accelerator for Commercial and Practical Uses

峰原英介*1、林崎規託*2

Eisuke J. MINEHARA and Noriyosu HAYASHIZAKI

要約

自由電子レーザー(FEL)や陽電子生成や電子ビーム産業応用などに用いるために実用的な小型超伝導加速器について総合的な開発をおこなった。FELは原子炉の解体や除染への応用が特に期待されてきた。超伝導加速器の実用的な利用を拡大するため、その隘路であった冷凍機と空洞共振器を安価に簡便に使用できる超伝導加速器システムの開発研究を行った。併せてこれを産業利用可能で、可搬型とする開発研究も行った。

I. 内容

以下の2点の内容項目について、実用的な小型超伝導加速器について開発をおこなった。

①医療・産業分野における超伝導加速器の利用可能性の調査 これに関しては複数分野の検討を行った。原子力学会の加速器・ビーム科学部会で専門委員会を立ち上げ準備を行った。定期的に国内グループ会議をAR TA10と原子力学会の加速器・ビーム科学部会、2012年に予定されているFEL国際会議のプレシンポを若エネ研で行うように提案し、準備した。

②実用的な小型超伝導加速器と応用技術の開発 超伝導加速器では加速電流や加速によって得られる電子エネルギーと冷凍機の負荷は関連がない。従って、スタンドバイロスと称される侵入熱と残留抵抗発熱を除くと電界の二乗のみに熱負荷は比例するので、現在の冷凍機でCW運転できる低電界を用い、最小加速回数で必要電子エネルギーを得る方法を具体的設計にて提案した。

II. 結果

伝導加速器を用いた電子ビーム発生法の検討を行った。実用型超伝導加速器を開発するために、その隘路であった小型冷凍機と空洞共振器を内製化する超伝導加速器システムの検討を行った。

①食品・医薬品殺菌滅菌用途と次世代超 LSI 微小欠陥検査方法である用電子顕微鏡の開発とFELによる原子炉解体除染を検討した。結果は発表予定である。国内学会の準備は了承を得た。2009 度協賛国際学会を行った。今年度国内会議第1回を行った。また日中韓サマースクールを韓国で組織するのに参加する。また2012年のFEL国際会議(京都)のプレシンポを提案して検討してもらった。開催予定である。

②冷凍機の熱交換器と駆動方式の調査・検討・開発を行った。積層熱交換器を別形式とすることで調査検討を行った。また駆動方式をスコッチヨークをやめてコンロッドとクランクにする概念検討を行った。マイクロトン方式と低電界加速の組み合わせを検討した。入射器をバンデグラフとする方式を検討した。

III. 成果の用途、課題、知的財産権の状況

この研究の成果は今のところ、世界で最も進んだ実用型超伝導加速器を安価に簡便に利用できる超伝導加速器システムの設計検討と、これに必要な主要要素の製造検討ができることと考えられる。今までこの実用型超伝導加速器はJAEAのFEL¹⁾(初号機全4台)とドイツJuelich原子力研究所(姉妹機2台)でしか生産されてない。

今後、AISTで陽電子顕微鏡用超伝導加速器が実用化されれば、X線光源、FEL、原子力応用(除染や解体)へ展開できると考えられる。陽電子顕微鏡は広い分野の工業製品の表面最終検査のみならず、多くの科学技術の隘路を突破する力となると考えられる。滅菌、殺菌用途は多くの分野で需要が期待される。

陽電子顕微鏡は産業用製品の最終仕上げの品質をナノ以下のレベルまで高精度で大面積速度で確認・解析できる唯一の方法で、多くの利用者がすでにAISTにいる。これを適切な金額と容易さで提供できれば、工業製品の表面品質の検査方法として、またその必要な装置として提供できる。しかしながら超伝導加速器は、工業的に我々の方法以外では利用できない。産業化を進める必要がある。滅菌殺菌は、特に問題はなくすぐ利用が可能と考えられる。各主要部品の内製化により、広く利用が可能となるので内製化の隘路克服と製造技術の確立が必要である。JAEA 基本特許、照射装置特許は成立済で、陽電子応用と原子力応用で取得予定である。また効率的な運用では、冷凍機内製化関連が特許取りやすく、今後取得予定である。

参考文献

1) E. J. Minehara et al.: Development and Operation of the JAERI superconducting Energy Recovery Linacs, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A557(2006) 16-22.

*1研究開発部、*2東京工業大学 本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが(独)産業技術総合研究所と東京工業大学との共同研究として実施した。

4. 2. 粒子線医療研究開発

4.2.1. 若狭湾エネルギー研究センターにおける陽子線がん治療臨床研究

Proton Therapy Project at WERC

山本和高^{*1}、久米恭^{*1}、高田卓志^{*1}、上西潤^{*1}、長谷川崇^{*1}

Kazutaka YAMAMOTO, Kyo KUME, Takushi TAKATA, Jun UENISHI and Takashi HASEGAWA

Abstract

The present status of proton therapy project at WERC is reported. Six new patients were treated by proton at WERC in 2009, and the overall number of patients became 62 since 2002.

要約

若狭湾エネルギー研究センターでは、平成 14 年度に実施された臨床治験に引き続き、平成 15 年度より陽子線がん治療臨床研究を開始した。平成 21 年度も臨床研究を継続し、新規に 6 名のがん患者に対し陽子線照射を実施し、当研究センターにおいて治療した患者数は累計 62 名となった。本報告では、平成 21 年度の陽子線がん治療臨床研究の実施状況について報告する。

I. 緒言

陽子線がん治療は、陽子線の持つ特徴的な線量分布を活用した低侵襲的ながん治療法として、世界的に注目されている。若狭湾エネルギー研究センターでは、加速器の実用化研究の一環として、平成 14 年度に陽子線がん治療装置の臨床治験を実施し、引き続いて平成 15 年度から陽子線がん治療臨床研究を始め、平成 21 年度も陽子線がん治療臨床研究を継続した。平成 20 年度までに陽子線がん治療を実施した患者に対しては引き続き経過観察を行った。

II. 平成 21 年度の実施状況

平成 21 年度も引き続き、倫理委員会で承認されている臨床研究計画（プロトコル）に従い、前立腺がん、肝細胞がん、非小細胞肺癌、頭頸部腫瘍（副鼻腔がん）について、陽子線がん治療ネットワークに参加している各医療機関等に適切な患者の紹介を依頼した。医療機関より紹介された症例から、プロトコルの条件に適合していた前立腺がん 6 例を選定した。肝細胞がん、非小細胞肺癌、頭頸部腫瘍については適応を満たす患者の紹介は得られなかった。

前立腺 6 例については、6 月中旬より治療計画を作成するための CT 撮影を開始し、7 月から 9 月までと 10 月から 12 月までの二期に分けて、左右 2 方向から 1 回 2.5 GyE（X 線線量相当、以下同様）、27 回の総線量 67.5 GyE の陽子線照射を行った。照射中は陽子線治療による問題となるような副作用は認めなかった。治療効果については、現在のところ、腫瘍マーカー（PSA）は低下傾向を示している。

陽子線がん治療臨床研究実施期間中、7 月に加速器装置の電磁石電源で故障が発生し、一部の患者について照射 1 日分を延期することで対処した。このように照射日程中に装置故障が発生したが、照射中止には至らず、計画通りの線量投与を完了した。

平成 21 年度までの陽子線がん治療臨床研究の対象となった患者数の累計は 62 名で、その部位別内訳は、前立腺がん 55 名、肝細胞がん 6 名、非小細胞肺癌 1 名である。

III. 平成 20 年度までの患者に対する経過観察状況

平成 14 年度から平成 20 年度までに陽子線がん治療を実施した患者に対しては、継続して経過観察を実施している。図 1 は、臨床研究において、陽子線照射のみを行った前立腺がん患者の腫瘍マーカー（PSA）の変化を示している。陽子線照射終了後には全例が 4 ng/ml 以下の正常範囲まで低下しており、陽子線照射の治療効果がうかがわれるが、1 例で、約 3.5 年後に PSA 値が治療後の最低値よりも 2 ng/ml 以上増加し、化学的再発と判定された。内分泌療法が実施されていた患者では、陽子線照射前に、既に PSA 値は低下しているが、これまでに再発と判定されるような PSA 値の増加を示した患者はいない。軽度(Grade1 または 2)の晩期障害は 6 例で報告されているが、外科的治療を必要とするような重篤な副作用(Grade3)の発現は認められていない。

^{*1}研究開発部 粒子線医療研究グループ

本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが福井県の受託研究として実施した。

IV. 今後の計画

若狭湾エネルギー研究センターにおける陽子線がん治療臨床研究は平成 21 年度実施分までで終了した。平成 22 年度からは福井県立病院に建設される陽子線がん治療センターでの医療としての陽子線治療へ発展的解消を遂げる。若狭湾エネルギー研究センターでは、平成 22 年度以降、これまでの研究参加者に対する経過観察を続けていくとともに、培養細胞や実験動物等を用いる粒子線がん治療に関する基礎的研究を、さらに拡充して実施していく予定である。

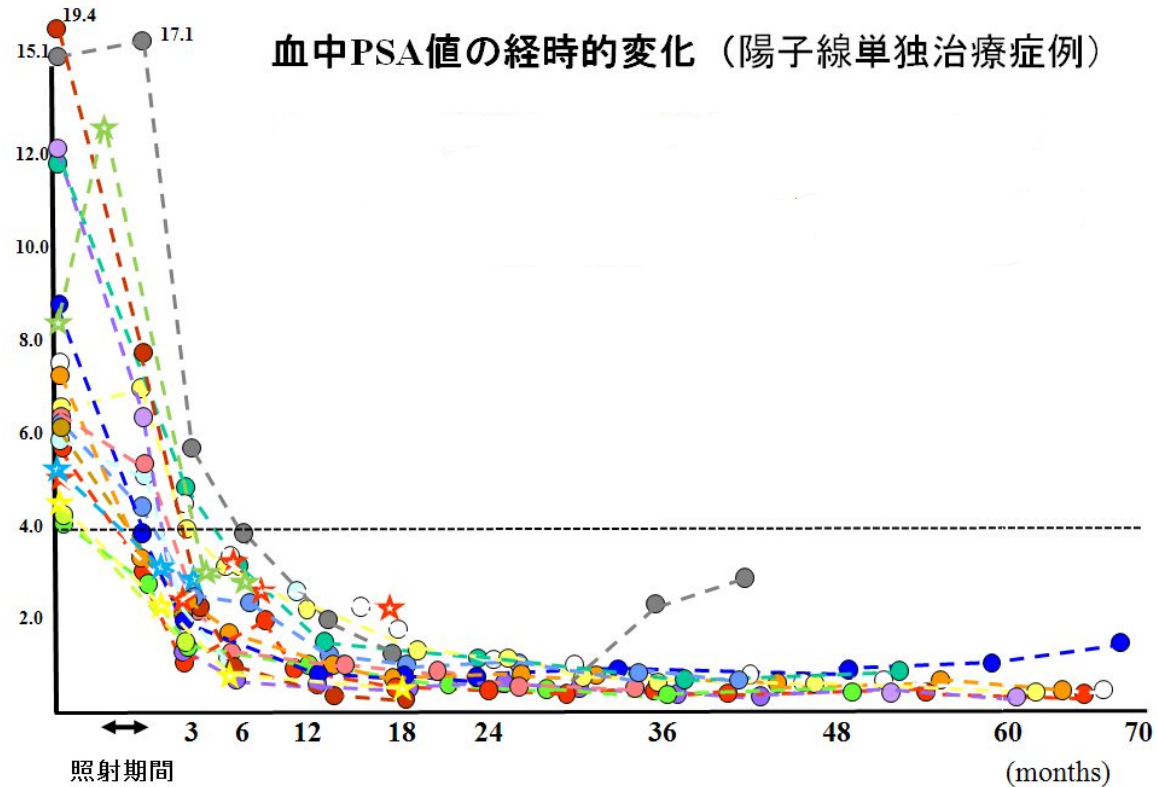


図 1 前立腺がん患者の腫瘍マーカー（PSA 値）の推移。PSA の正常範囲は 4 ng/ml 以下。横軸は、治療終了日からの月数を示している。1 例で約 3.5 年後に PSA 値の再増加がみられ、再発と判定された。

4.2.2. スキャニング照射対応線量モニターシステムの構築

Development of a Dose Monitoring System for the Proton Therapy Scanning Irradiation System

久米恭^{*1}、高田卓志^{*1}、長谷川崇^{*1}

Kyo KUME, Takushi TAKATA and Takashi HASEGAWA

Abstract

A dose monitoring system for proton therapy scanning irradiation system has been developed at the Wakasa Wan Energy Research Center (WERC). This monitor system has been adopted in the reconstruction of the WERC proton therapy beam line.

要約

陽子線治療スキャニング照射に適したモニターシステムを開発した。この成果を陽子線がん治療研究装置改造工事に適用した。

I. 緒言

若狭湾エネルギー研究センター(WERC)では、陽子線治療用スキャニング照射技術及び検証手段の実用化を目指して研究開発を実施している。今般、この目的に適した線量モニターシステムの構築を行った。またこの成果を実用化し、陽子線がん治療研究装置(PT)改造にあわせ、実際に運用開始した。

II. 方法

現在運用している WERC の PT では、表示用パーソナルコンピュータ(PC)が周辺機器との信号取り合いを受け持ち、PC の下位に接続された遠隔コンパクト PCI スケーラー(遠隔 PCI)が照射線量を測定して加速器システムとの信号取合いを受け持っている。ブロードビーム照射法では PC により遠隔 PCI へ照射線量が設定され、照射により設定線量を満了した際に遠隔 PCI から加速器ロジック制御回路(FPGA)に停止信号が送信され、FPGA がビームの高周波出射制御(RFK)を停止するとともにビームシャッターをビームライン中に挿入することで、ビーム出射が完全に停止される。一方、スキャニング照射では、PC と遠隔 PCI の間に分割線量の制御装置が必要であり、現在の PT ではスキャニング照射が不可能である。

今回の開発においては、表示用 PC と遠隔 PCI の間に新規の PC を設置し(図1)、新規の PC によりスキャニング照射に対応した分割線量の制御を可能とした。また表示用 PC と FPGA との信号取合いを新規の PC により実施できるよう、信号取合いを変更した。

III. 結果・考察

今回の開発により、スキャニング照射等の高度な照射野形成に対応した線量モニターシステムを構築した。また、この線量モニターシステムを照射室3改造工事に適用した。

この線量モニターシステムの開発により、制御システムはより安定度の高いものに更新され、安定な運転を可能とすることが期待できる。

IV. 結語

WERC 陽子線がん治療研究装置の線量モニターシステムをスキャニング照射に対応したシステムへ高度化した。更にこのシステムを照射室3に適用して実装した。

^{*1}研究開発部 粒子線医療研究グループ

本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが福井県の受託研究として実施した。

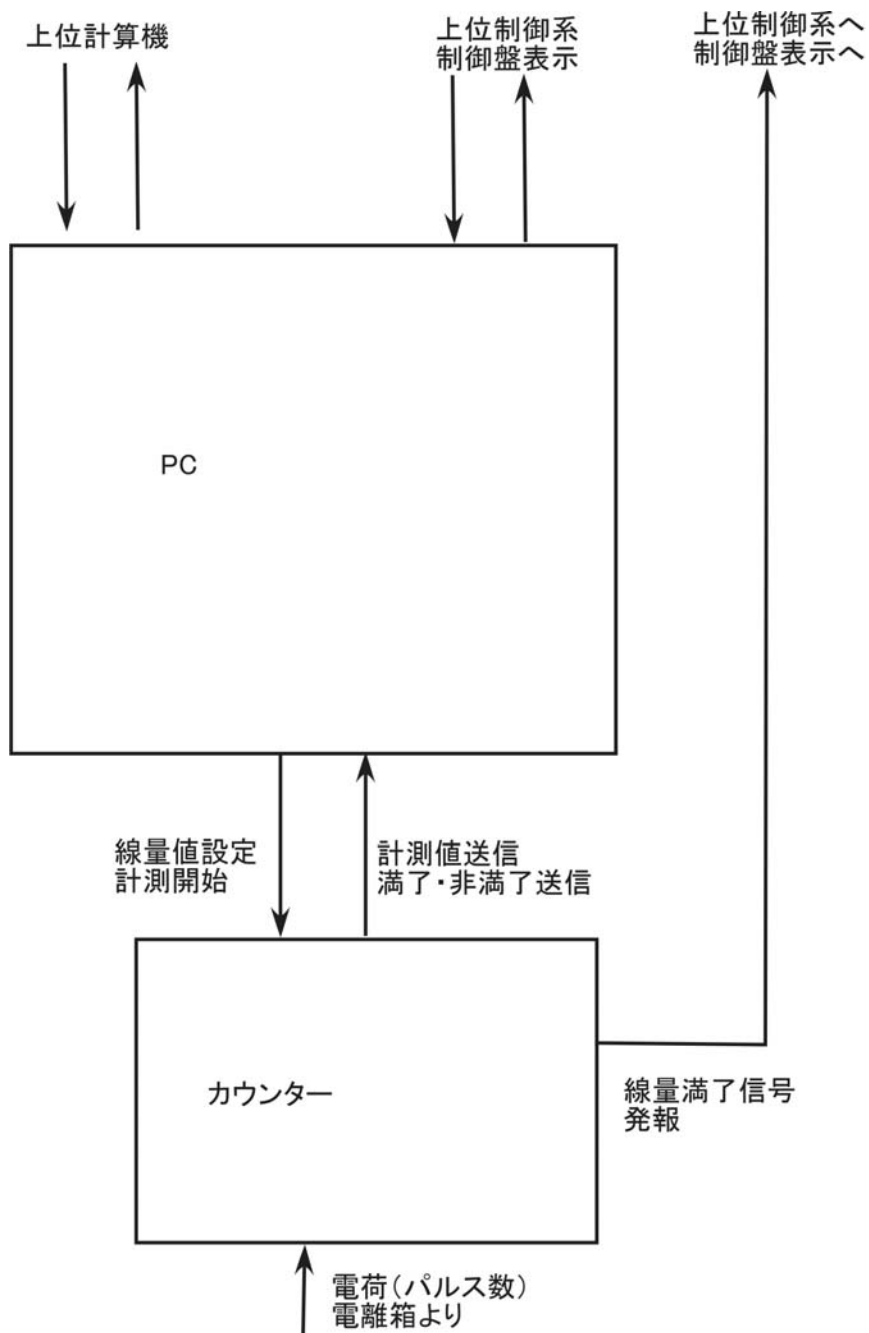


図1 改良後のモニターシステム概略図。遠隔に設置されている既存の表示用 PC (図中の「上位計算機」とコンパクト PCI カウンター (図中の「カウンター」) 間に新規に設置した PC により、スキャニング照射に対応する。

4.2.3.加速器を用いた生物実験用低エネルギー中性子照射場の開発

Development of accelerator-based low-energy neutron irradiation field for biomedical experiments

高田卓志^{*1}、久米恭^{*1}、田中浩基^{*2}、櫻井良憲^{*2}、丸橋晃^{*2}

Takushi TAKATA, Kyo KUME, Hiroki TANAKA, Yoshinori SAKURAI and Akira MARUHASHI

がんの放射線治療法の一つであるホウ素中性子捕捉療法(BNCT)は、皮膚などの腫瘍以外の組織に比べて、腫瘍に高い線量を投与することが可能であるため、副作用を抑え、かつ、十分な治療効果の得られるがん治療法として期待されている。BNCT では、ホウ素を含有し、腫瘍への集積率の高い薬剤を患者に投与し、続いて低エネルギー中性子照射を行う。ホウ素薬剤と中性子照射は、どちらも単独では生体への効果はほとんどない。薬剤中のホウ素 10 は、中性子との反応により、荷電粒子を発生する。この荷電粒子は、細胞の大きさと同程度の距離で止まってしまうため、ホウ素薬剤を取り込んだ細胞近傍にのみ高い線量を付与する。この特性とホウ素薬剤の腫瘍への高集積により、腫瘍に高い線量を投与することができる。

BNCT の治療効果をより高めるため、より集積率が高い薬剤の開発が望まれている。薬剤の開発では、細胞や実験動物を用いた効果検証実験が必須であり、そのための低エネルギー中性子照射設備が必要となる。現状では研究用原子炉が使用されているが、国内で生物照射が可能な原子炉は、京都大学原子炉実験所の KUR と日本原子力研究開発機構の JRR4 の 2 箇所のみであり、生物照射が可能な新たな中性子照射設備が望まれている。

本研究では、BNCT 生物実験のための中性子照射場を、加速器を用いて形成することが目的である。前年度までに、8~10MeV に加速した陽子とベリリウムとの反応により発生する中性子を水ファントムに入射させ減速し、低エネルギー中性子場を形成する手法を確立した。今年度は、形成した中性子場において、実際にホウ素薬剤を投与した細胞を照射し、生物実験が可能であることの確認を行った。

実験では、タンデム加速器を用いて 8MeV に加速した陽子をベリリウムに衝撃させ、中性子を発生させた。中性子発生点から約 10cm の位置に水ファントムを設置し、ファントム内に V-79 細胞を培養したフラスコを固定して照射を行った(図-1)。ホウ素薬剤として、現在の BNCT 臨床研究でも用いられている boronophenylalanine(BPA)を使用し、培養液中のホウ素 10 濃度が 10ppm および 30ppm となるよう薬剤量を調整した。ホウ素薬剤を入れたものと入れないものに対して、60 分の照射を行った。

図-2 は、ホウ素 10 濃度に対する V-79 細胞の生存率の変化を示している。ホウ素薬剤を入れなかったものについても、中性子照射による生存率の低下が見られたが、ホウ素 10 濃度の増加に従って生存率が低下することが確認できた。今回用いた照射場は、熱中性子だけでなく高速中性子やガンマ線も混在しているため、それらの寄与についても、今後評価を行っていく予定である。

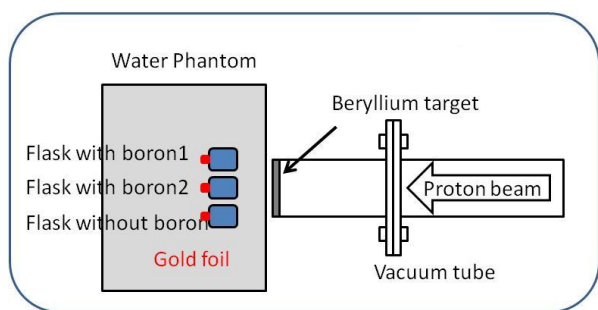


図-1 細胞照射の実験体系

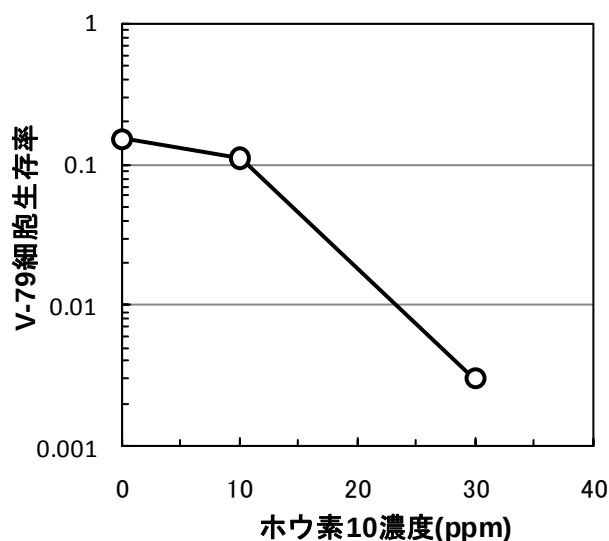


図-2 中性子照射した V-79 の生存率

^{*1}研究開発部 粒子線医療研究グループ、^{*2}京都大学原子炉実験所

4. 3. 品種改良育種関連研究開発

4.3.1.陽子線が生体内で引き起こす損傷の分布と DNA への効果

The Fundamental Study of Biological Effect Caused by Particle Ion Beam Irradiation

泉 佳伸^{*1}、高城 啓一^{*2}、清水 喜久雄^{*3}、松尾 陽一郎^{*1}、小嶋 崇夫^{*4}畑下 昌範^{*2}Yoshinobu IZUMI, Keiichi TAKAGI, Kikuo SHIMIZU, Youichirou MATUO, Takao KOJIMA
and Masanori HATASHITA

Abstract

We have been studying proton or carbon ion-beam induced mutation of the budding yeast, S288c (*RAD* +, as model of eukaryote cell. In cases of proton or carbon ion-beam irradiations, several features of deep interest can be observed, contrasting with the low-LET radiations such as gamma-rays. The yeast cells were irradiated with proton or carbon ions with the dose 50 to 200 Gy.

要約

本研究では高等生物のモデルとして出芽酵母を用い、高 LET 粒子線である炭素線及び、低 LET 粒子線である陽子線照射によるトラック(飛跡)構造と、それを反映する生物効果との関係の解明を目指した。生存率の結果から、LET の上昇に伴って致死率が上昇する傾向が確認された。また、突然変異頻度は LET に依存した。

I. 緒言

がん治療をはじめとして、粒子線の医学応用が急速に広がっている。そこで、高等生物のモデルとして出芽酵母を用い、陽子線並びに炭素線照射による生物効果と LET の関係について注目し、研究を行った。低 LET 粒子線である陽子線(LET:0.45keV/ μ m)及び、高 LET 粒子線に類する炭素線(LET:107keV/ μ m)を用い、生存率、突然変異率について相互に比較する研究を実施した。

II. 実験方法

1. 生存率・突然変異率

照射試料として、*Saccharomyces cerevisiae* の S288C (*RAD* +)、及び二本鎖切断修復不活性株である g160/2b (*rad52*) を用いた。低 LET 粒子線として、若狭湾エネルギー研究センターの生物照射コース用装置を用いて加速した陽子線を用いた(LET:は約 0.45keV/ μ m)。細胞照射時のサンプルの配置を図-12 示す。また、高 LET 粒子線としては、原子力機構イオン照射研究施設 (TIARA) での炭素粒子線 (LET:107 keV/ μ m)、及び放射線医学総合研究所の HIMAC 照射施設での炭素線 (LET:13-75 keV/ μ m)を照射した。また、比較として、大阪大学産業科学研究所のコバルト 60 照射施設のガンマ線を用いた。それぞれ吸収線量は 50Gy-200Gy である。酵母細胞の培養には YPD 培地を用いた。培養した酵母細胞を吸着させたニトロセルロースメンブレン¹⁾を照射試料として、照射実験を実施した。生存率は照射後のメンブレンを固体 YPD 培地へ移し、30℃で 24h 培養後、生育してきたコロニーの計数を行うことによって算出した。

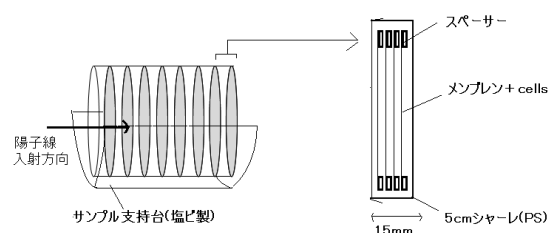


図-1 陽子線照射実験でのサンプル配置

2. 核飛跡検出器 CR-39 による陽子線飛跡の確認

核飛跡検出器 CR-39 を用い、陽子線による飛跡構造を明確にするための予備的実験を実施した。これは陽子線の飛跡と細胞内の DNA 鎖切断等を同時にイメージングする手法のための準備として平成 21 年度実施したものである。35×35×0.45 mm の CR-39 に対し陽子線を照射し、照射後にアルカリ溶液によってエッチングを行い、エッチピットの形成について顕微鏡画像により確認を行った。

試験に用いた CR-39 は、標準品バリオトラック(35×35×0.45 mm)及び低 LET 放射線用に特別に開発されたハーツラス TD-1(35×35×0.45 mm)の 2 種である。吸収線量は 35×35 mm の面に照射されるイオン数を考慮(トラックの重なりが見られない程度のフルエンス)し、1Gy とした。エッチングには水酸化ナトリウム水溶液(6.25 mol/L)とメタノールを 1:1 で混合したエッチング溶液を用い、10 時間、37℃で行った。CR-39 の照射面に生成したエッチピットは、位相差光学顕微鏡(BX-51, オリンパス社)及び画像撮影装置(BH-350)により観察した。

*1 福井大学、*2 研究開発部 生物資源グループ、*3 大阪大学、*4 大阪府立大学

III. 結果・考察

1. 生存率・突然変異率

野生株についての生存率の結果を図-1 に示す。陽子線照射の場合の野生株での生存率は、より高 LET の炭素粒子線と比較して高かった。これは、LET の上昇に伴い局所的にエネルギーが付与されることで、狭い領域での DNA 二本鎖切断などの特徴的な“クラスター損傷”が誘発されたことに関係すると考えられる。粒子線が媒質中に入射した場合、その入射飛跡に沿って電離・励起を起こし、この電離・励起を起こす領域をスパーという。γ線や低 LET の陽子線照射の場合、スパー間の距離は十分に離れているが、重粒子線照射の場合にはイオン化がイオンの飛跡に沿って高密度で起こりスパー同士が重なり合い、トラック構造を形成する。一般に、LET が $3 \text{ keV}/\mu\text{m}$ 以上では、スパーが重なりコアを形成すると考えられている²⁾。陽子線、及びγ線において致死効果が比較的低いのは、これらのスパーの重なりと致死の原因となる DNA 鎖切断との関係から、説明できると考えられる。

また、DNA2 本鎖切断が修復できない株である *rad52* での結果は、陽子線、炭素線ともに野生株より約 1 桁程度低かった(図-3)。これは、どちらの線種についても、DNA 二本鎖切断が致死効果の主な原因となることを示している。また突然変異頻度は、陽子線と比較して炭素線は高く、LET の上昇に伴って突然変異率が上昇する傾向が確認された(図-4)。

平成 22 年度以降、二本鎖切断修復が不活性である *RAD52*、*RAD50*、DNA への酸化損傷によって生じた 8-oxoG の除去活性がない *ogg1* などを用いた、陽子線照射による生存率・突然変異誘発率の比較実験を計画している。

2. 核飛跡検出器 CR-39 による陽子線飛跡の確認

陽子線照射後の核飛跡検出器 CR-39 の2種の顕微鏡画像(400倍)を、図-5(A)に示す。また、未照射のサンプルの画像を図-5(B)に、比較のために同倍率(400倍)で撮影した酵母細胞の画像を図-5(C)に示す。図-5(B)は未照射のバリオトラックにバルクエッチング処理を行った場合の画像で、エッチピット像が観察されなかったことから、保存中に大気中に存在する²²²Rnなどの放射性壊変に伴うα線による影響は排除されていることが確認できた。一方、図-5(A)において明瞭なエッチピット像が観察された。図-5(C)に示した出芽酵母細胞のサイズと比較して、画像の重ね合わせの位置精度を十分に高める工夫を施せば、個々の細胞において陽子線が貫通したかどうかの判定は行えるものと判断された。なお、今後、核飛跡検出器と細胞の培養系を複合させ、陽子線照射によるトラック(飛跡)構造と、それを反映する生物効果との関係の解明を目指す計画である。

IV. 参考文献

- (1) Y. Matuo, et.al, “Specifity of mutation induced by carbon ions in budding yeast *Saccharomyces cerevisiae*”, *Mutation Res.*, 602, 7-13 (2006).
- (2) J. A. LaVerne, “Track effects of heavy ions in liquid water”, *Radiat. Res.*, 153, 487-196 (2000).

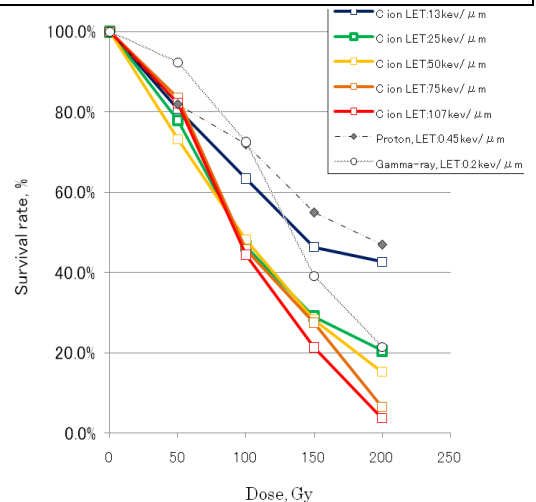


図-2 陽子線・炭素線照射での細胞生存率

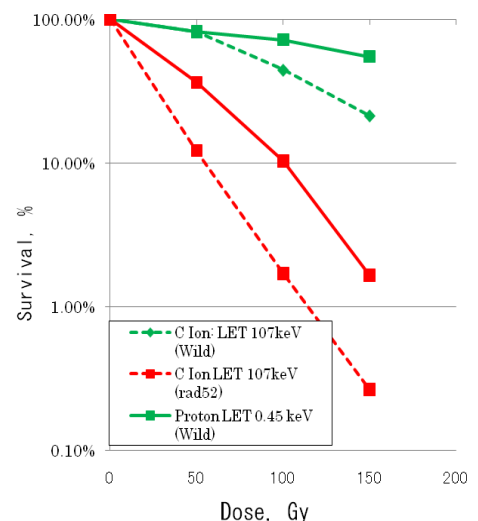


図-3 野生株及び *rad52* 株での生存率比較

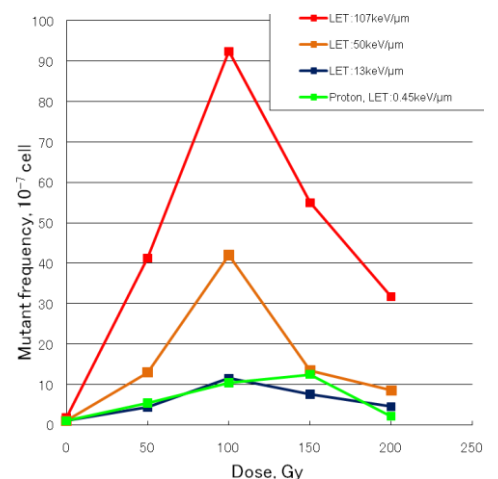


図-4 陽子線・炭素線照射での突然変異率

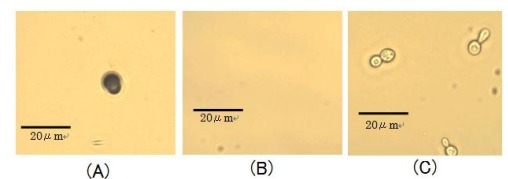


図-5 CR-39 顕微鏡画像

4.3.2. カーボンナノチューブ修飾電極上での色素依存性脱水素酵素の電気化学挙動

Electrochemical Behavior of Dye-linked L-Proline Dehydrogenase on Glassy Carbon Electrodes Modified by Multi-walled Carbon Nanotubes

末 信一郎^{*1}、桑田典明^{*1}、鄭 海濤^{*2}、高城啓一^{*3}

Shin-ichiro SUYE, Noriaki KUWATA, Haitao ZHENG and Keiichi TAKAGI

Abstract

Glassy carbon electrode (GC) was modified by multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs). A recombinant thermostable dye-linked L-proline dehydrogenase (L-proDH) originally from hyperthermophilic archaeon (*Thermococcus profundus*) was further immobilized by physical adsorption, and the modified electrode (GC/MWCNTs/L-proDH) exhibited electrocatalytic signal to L-proline compared to bare GC, GC/L-proDH and GC/MWCNTs electrode, which suggested that the presence of MWCNTs efficiently enhanced the electron transfer between the active site of enzyme and electrode surface.

要約

マルチウォール型カーボンナノチューブ(MWCNTs)を修飾したグラッシーカーボン電極を作成し、更に超好熱性アーキア *Thermococcus profundus* 由来色素依存性L-プロリン脱水素酵素を物理的若しくは化学的に固定化し酵素反応に基づく電流応答を検討した。その結果、MWCNTs の存在は酵素と電極間の電子伝達効率を高めていることが示唆され、高感度センサの構築への応用が期待された。

I. 緒言

現在、食中毒菌をはじめとする有害微生物による健康被害が問題となっており、有害微生物の迅速な検出は適切な防疫上の処置を実施するために必須である。従来の微生物検出方法としては、培養法¹⁾、免疫学的手法²⁾、遺伝子工学的的手法³⁾などがあるが、検出に要する時間、感度、操作性などに問題があり、現場サイドでの実用性は乏しい。一方、迅速簡便な微生物検出法として電気化学的手法を用いた DNA センサが注目されている。これは目的遺伝子の存在を電気信号に変換することにより検出を行う手法であり、ターゲットとなる有害微生物の DNA レベルでの迅速、簡便、高感度な検出が望める。すでに、我々は耐熱性酵素を修飾したレポータープローブとビオチンを修飾したキャプチャープローブを用いて PCR により増幅したターゲット DNA を電極上に固定化することで DNA センサの構築を行った⁴⁾。本研究では更に高感度なセンシングデバイスの構築を目指す目的でカーボンナノチューブ修飾電極上に超好熱性アーキア *Thermococcus profundus* 由来色素依存性 L-プロリン脱水素酵素(L-ProDH)⁵⁾を固定化し酵素反応に基づく応答性を検討した。

II. 実験方法

1. 試薬

発現用宿主 *Escherichia coli* BL21-Codonplus (DE3)-RIL Competent Cells は STRATAGENE 社より入手した。超好熱菌 *T. profundus* 由来耐熱性酵素発現用 pET11a ベクターは九州大学農学部大島敏久教授より恵与して頂いた。Ferrocene monocarboxylic acid (Fc-COOH) はシグマ社製を用いた。

2. 耐熱性アーキア由来 L-プロリン脱水素酵素(L-ProDH)の組換え体大腸菌よりの精製

組換え体大腸菌は Overnight Express™ Instant TB Medium (Novagen) を培地として用い 16 h 振とう培養した。培養終了後、菌体を集菌・洗浄を行い、超音波処理にて菌体を破砕し、遠沈上清を粗酵素液とした。次に粗酵素液を 70℃, 10 min 加熱処理を行い、更に飽和硫酸アンモニウム処理、疎水クロマトグラフィー (Phenyl Toyopearl 650M) にて精製を行った。

3. カーボンナノチューブ(MWCNT)及び L-ProDH 固定化電極の作製

MWCNT 1 mg とエタノール 1 ml を混合し、30 min 超音波処理を行うことで分散させた。研磨したグラッシーカーボン電極若しくはスクリーンプリント(SPE)上に 1 mg/ml MWCNT 分散液を 10 µl 滴下、風乾し、同様に精製 L-ProDH を滴下、風乾して固定化した。L-ProDH の化学的固定化はグルタルアルデヒド(GA)を L-ProDH 溶液に添加したものを電極に 5 µl 滴下、風乾することで行った。

4. MWCNT 修飾電極の電流応答の測定

^{*1}福井大学大学院工学研究科、^{*2}天津工業大学材料化工学院、^{*3}研究開発部 生物資源グループ
本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターの公募型共同研究事業として実施した。

反応液は 37℃ 恒温とし、窒素ガスで 10 min バブリング後、窒素雰囲気下で +0.45 V (vs. Ag/AgCl) の印加電圧をかけ酵素基質である 60 mM L-proline 100 μ l を添加後、0.3 mM Fc-COOH 10 μ l を逐次添加して電流応答の測定を行った。修飾 SPE では各 Fc-COOH 濃度の反応溶液 20 μ l をそれぞれスクリーンプリント電極 (SPE) 上に滴下し、+0.25 V の印加電圧をかけて電流応答の測定を行った。また、修飾 SPE は各測定毎に取り換え使い捨てとした。電気化学的測定は Electrochemical Analyzer Model 800B (BAS) を用い 3 電極方式で行った。

III. 結果と考察

1. MWCNT 修飾電極の Fc-COOH に対する電流応答性

MWCNT/L-ProDH 物理的修飾電極及び GA 架橋法による L-ProDH 固定 MWCNT 修飾電極を用いて 0.3 mM Fc-COOH 10 μ l の逐次添加に対する電流応答を測定した。MWCNT/L-ProDH 物理的修飾電極は未修飾の電極と比較して約 14 倍の電流応答を示し MWCNT が持つ電流応答の増幅効果を確認することができた (図-1)。一方、L-ProDH 固定化 MWCNT 修飾電極は未修飾電極の約 4 倍の電流応答であった。MWCNT を修飾したことにより、電流応答が大幅に増大する一方で、酵素を化学的に固定化した修飾電極の電流応答が低かった原因として固定化に用いた GA の濃度が高すぎたために一部の L-ProDH が失活してしまったことや L-ProDH 固定化膜が Fc-COOH の電極への接触を阻害し、効率的な電子伝達が行われなかったことなどが考えられる。

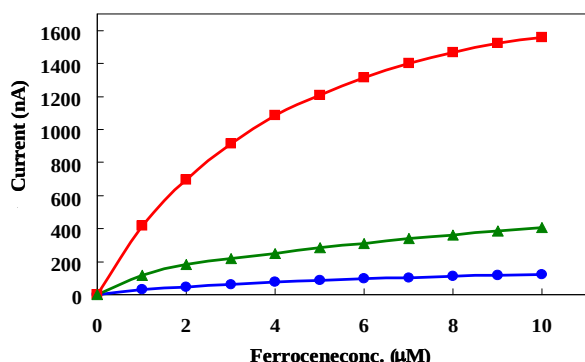


図-1 1 μ M フェロセン溶液の逐次添加による各電極の電流応答

- : グラスカーボン電極 (未修飾)
- : MWCNT/L-ProDH 修飾電極
- ▲: L-ProDH 固定化/MWCNT 修飾電極

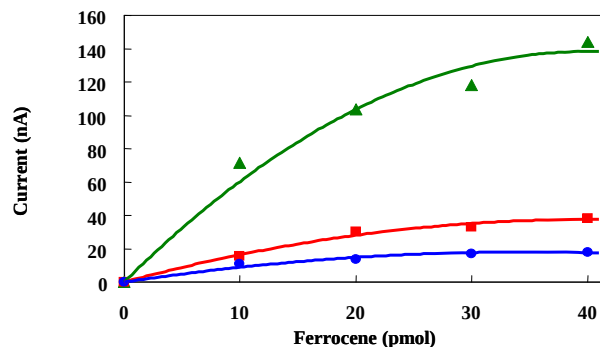


図-2 各種 SPE に対する電流応答

- : 未修飾 SPE
- : L-ProDH 修飾 SPE
- ▲: MWCNT/L-ProDH SPE

2. SPE の Fc-COOH に対する電流応答性

MWCNT/L-ProDH 物理的修飾電極ではフェロセン 3 nmol までの検出が可能であったが、さらに高感度な DNA センシングシステム構築のため、デバイス側にも着目し、SPE への応用を試みた。SPE は微量の反応溶液で測定が可能であり、電極チップ上に反応溶液を滴下するという簡便な操作で検出が行えるため、現場サイドでの迅速かつ簡便な検出が期待できる。今回は SPE 上に物理的吸着によって MWCNT 及び L-ProDH の固定化した。未修飾の SPE 及び作製した SPE を用いて 10-40 pmol の各 Fc-COOH 濃度に対する電流応答を測定した (図-2)。MWCNT 修飾グラスカーボン電極での結果と比較すると Fc-COOH の絶対量に対する電流応答は約 40 倍になることがわかった。この理由として、バッチ式での測定と比べ SPE での測定は必要とする反応溶液の量が微量であるため、同濃度のサンプルを同量用いた際に反応溶液中のサンプル濃度が高い状態で測定可能であることが挙げられる。以上のことから、MWCNT/L-ProDH 物理的 SPE を用いて有害微生物をターゲットとした DNA センシングシステムの構築が期待される。

参考文献

- 1) C. Bartie, S. Venter and L. Nel, Water Res., **37**, 1362 (2003).
- 2) C. Shone, P. Wilton-Smith, N. Appleton, P. Hambleton, N. Modi, S. Gatley, and J. Melling, Appl. Environ. Microbiol., **50**, 63 (1985).
- 3) P. N. Robinson, B. Heidrich, F. Tiecke, and F. J. Fehrenbarh, FEMS Microbiol. Lett., **140**, 111 (1996).
- 4) S. Suye, T. Matsuura, T. Kimura, H. Zheng, T. Hori, Y. Amano, and H. Katayama, Microelectronics. Engineer., **81**, 441 (2005).
- 5) R. Kawakami, H. Sakuraba, and T. Ohshima, Extremophiles, **8**, 99 (2004).

4.3.3. イオンビーム照射によるエタノール発酵糸状菌変異株の構築

Construction of Ethanol Fermentation Filamentous Fungi Mutants by Ion Beam Irradiation

星野一宏^{*1}、高野真希^{*1}、畑下昌範^{*2}

Kazuhiro HOSHINO, Maki TAKANO and Masanori HATASHITA

I. 緒言

近年、原油価格の高騰や化石燃料枯渇への懸念に伴い、再生可能なバイオエネルギーの効率的生産法の開発が急務となっている。特に、注目を集めているバイオエタノールは、世界各国でガソリンへの混合により実用化されはじめているが、その原料は容易に糖分が得られる穀物や糖質原料であるため、食糧との競合に関する問題が顕著化している。それゆえ、この問題を避けるため未利用なバイオマス資源からのエタノール生産が注目されている。一方、対象となる稲わら中の糖質は、グルコースを主骨格とするヘキソースのみならずペントースなどを多く含むが、これら糖質を全て利用できる野生のエタノール発酵微生物は限られているため、近年では、エタノール発酵に関与する遺伝子やペントース代謝遺伝子を組換えた大腸菌、酵母、コリネ菌などの開発が進んでいる。しかし、このような遺伝子組換え微生物を用いてもグルコースと同程度の効率でエタノールを生産できるものは皆無である。そこで求められるのが、”キシロースも発酵できる野生のエタノール発酵微生物”である。このような背景から、我々はペントースを高収率でエタノール発酵できる糸状菌の検索を行ってきた。その結果、接合菌が、好気及び嫌気培養の条件下で、グルコースのみならずキシロースも発酵できることを新規に見いだした。しかし残念なことに、キシロース発酵能は弱い。そこで、本研究において発見した接合菌 *Mucor* sp. の分生子にイオンビームを照射し、キシロースからのエタノール高生産変異株を構築することを目指した。

II. 方法

1. 使用菌株

接合菌として(独)製品評価技術基盤機構保存の *Mucor* 属 150 株から高キシロース発酵株として選択・育種した *Mucor* sp. 株を使用した。

2. イオンビーム照射

Mucor sp. 株を 28℃ で PDA 寒天培地に生育させた菌糸体から、無菌条件下で分生子を回収した後、生理食塩水で懸濁した。この溶液をオプティセル 1100 (NUNC) に入れた状態で、200MeV のプロトンビームあるいは 660MeV のカーボンビームを照射した。

3. 高エタノール生成株の取得

イオンビーム照射分生子懸濁液を希釈し、変異株分離用液体培地に播種し、28℃ の振とう培養の条件下で 48 時間培養を行い、生育したペレットを回収した。この分離株を用いてエタノール生産培地にて 96 時間の培養を行い、生成するエタノール量を評価した。

4. 炭素源の消費及びエタノール生産量の分析

キシロース、副生成物であるキシリトール、及びグリセリンは、HPLC を用いて分析した。生成したエタノール濃度は、キャピラリーガスクロマトグラフィーにより測定した。

III. 結果及び考察

1. 高エタノール生成株の取得

糸状菌 *Mucor* sp. のエタノール生成量を向上させるために、イオンビーム照射による変異株の獲得を行った。初めに、500 Gy～2,000 Gy のプロトン照射を行ったが、生育に対してほとんど変化が認められず有益な変異株は獲得できなかった。そこで次に、カーボンイオン照射に変えて変異株の獲得を試みた。その結果、2,500Gy までは生育に対して全く変化は認められなかったものの 3,000Gy では増殖阻害を強く受け、4,000Gy では全く生育する株は認められなかった。そこで、変異誘導が強い 3,000Gy 照射した分生子から高エタノール生産株のスクリーニングを行った。高キシロース濃度の条件下で、かつ、25 g/L のエタノールの存在下で生育する変異株 13 株を最終的に得た。更に、得られた 13 種類の変異株を用いて 50 g/L のキシロース存在下で好気培養を 7 日間行った結果、対象実験の場合、12.6 g/L のエタノールを生産したものの、特に、J 株は 16.3 g/L のエタノールを得ることができた。

*¹ 富山大学、*² 研究開発部 生物資源グループ

2. *Mucor* sp.J 株の回分培養

図1は高キシロース発酵糸状菌 *Mucor* sp.J 株の回分培養の結果である。グルコースを炭素源としたとき、23 g/Lのエタノール(36 h)が得られた。このときの発酵効率率は90.8 %、生産性は0.64 g/L/h でほぼ発酵酵母に匹敵する値を示した。一方、キシロースの場合、19.3 g/L (60 h)、発酵効率率75.3 %と従来のエタノール発酵微生物として知られている *Z.mobilis* や *Pichia stipitis* に匹敵し、更に生産速度が速いことが判明した。

IV. まとめ

ソフトバイオマスからバイオエタノールを生産させるための新規な微生物を開発することを目的として、エタノール発酵糸状菌 *Mucor* sp.に対してカーボンイオン照射を行い、13 株の変異株を得た。この変異株の内最も優れている J1 株について好気条件下で回分培養を行った結果、グルコースに関しては酵母に匹敵し、更に、キシロースに関しては従来の発酵微生物より高発酵効率で更に、高生産性を有する高性能な発酵微生物を構築することができた。今後、この変異株に対して更にイオンビーム照射を実施し、セルロース系バイオマスを加水分解する酵素の分泌促進を検討し、一つの微生物で糖化と発酵を行える高機能な糸状菌を構築することを検討する予定である。

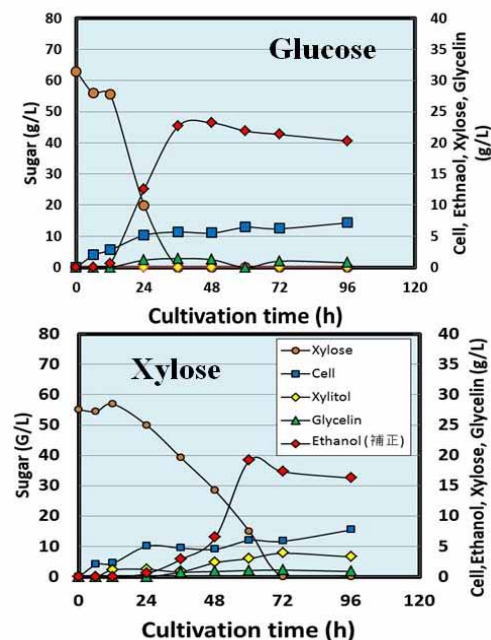


図1 *Mucor* sp. J 変異株の回分培養

4.3.4. 陽子線がん治療における低線量被ばくによる正常組織反応の機構解明

—それによるがん細胞死の促進機構の解明—

Mechanisms of Normal Tissue Responses induced by Exposure to Low Dose Protons

—Stimulation of Cell Death by the Responses—

松本英樹^{*1}、畑下昌範^{*2}

Hideki MATSUMOTO and Masanori HATASHITA

I. 目的

本研究においては、ヒト正常線維芽細胞 (AG1522 細胞)、ヒト非小細胞肺癌細胞 (H1299 細胞) の正常型 *p53* 遺伝子導入細胞 (H1299/*wt p53* 細胞)、ICR マウス及びヒト腫瘍担がんマウスを用い、低線量陽子線被ばくによる放射線感受性の修飾、細胞周期調節因子の誘導動態、細胞死あるいは細胞増殖調節因子の誘導動態等を放射線生物学的、分子生物学的及び細胞生物学的に解析し、低線量陽子線被ばくにより誘発される正常組織反応の機構を明らかにすることを目的とする。

II. 内容

1. 各種粒子線による放射線適応応答の誘導

低線量 X 線照射により誘導される放射線適応応答¹⁾が各種粒子線の低線量照射により誘導されるか否かを H1299/*wt p53* 細胞を用いて検討した。その結果、陽子線、ネオン線、炭素線及び鉄線の低線量照射によっても放射線適応応答が誘導されることが、生存率および突然変異率をエンドポイントとした解析により明らかとなった。

2. マウス個体における粒子線誘発バースタンダー応答

炭素線及びアルゴン線全身照射、上半身 (剣状突起より頭側) 照射及び下半身 (剣状突起より尾側) した ICR マウスの小腸及び精巣における TUNEL 陽性 (アポトーシス) 細胞の出現頻度を免疫組織化学染色法により検討した。全身照射の場合は、小腸及び精巣において顕著に TUNEL 陽性細胞が認められた。下半身照射においても同様であった。上半身照射では、被ばくしていない小腸及び精巣において TUNEL 陽性細胞が認められ、マウス個体においても放射線誘発バースタンダー応答により非被ばく組織の細胞にもアポトーシスが誘導されることが示唆された。

参考文献 1) H. Matsumoto, M. Tomita et al.: J. Radiat. Res., 50: A67-A79, 2009.

^{*1}福井大学高エネルギー医学研究センター、^{*2}研究開発部 生物資源グループ

4.3.5.イオンビーム照射によるトランスポゾン移動メカニズムの解明

Analysis of the transposon movement mechanism by the ion beam irradiation

織田康敬^{*1}、畑下昌範^{*2}、沖昌也^{*1}

Yasutaka OTA, Masanori HATASHITA and Masaya OKI

トランスポゾンは同一細胞内の染色体上を動き回る事のできる遺伝子であり、近年、細胞の進化の過程で、重要な役割を担っており、また、個々の細胞の特異性を出すための遺伝子発現調節機構にも関与することが報告され注目を集めている。しかし、トランスポゾンの重要性及び関与は明らかになっているが分子レベルでどのように機能し調節しているかは不明な点が多い。我々は出芽酵母 *S. cerevisiae* をモデル生物として用い、イオンビーム照射により細胞がストレスを受け、それによるトランスポゾンの動きに関して、分子レベルでのメカニズム解明を目的としている。応用面としては、トランスポゾンの動きを自由にコントロールし、効率の良い変異導入システムの開発を目指している。

最初に、出芽酵母 *S. cerevisiae* に、二種類の異なる放射線を照射し解析を行った。放射線はカーボンビームとプロトンビームの二種類を、照射株には全遺伝子配列決定がされている S288C 株を用い、放射線量と生存率の関係を解析した。カーボンビームでは 50Gy の照射で生存率が 10% 以下になり、プロトンビームでは 300Gy の照射で生存率が 10% 以下になった。興味深いことに、カーボンビーム、プロトンビームともそれぞれ更に 2000Gy、1000Gy の高線量を照射しても、生存率が 0% にならず、ある一定量の線量を超えると生存率は低下せず、横ばい状態が続くことが明らかとなった。更に、2000Gy のカーボンビーム照射で生育した酵母株に、300Gy のカーボンビームを照射したところ、野生株に比べ生存率が 8~10 倍上昇し、これら生存率が上昇した酵母にもう一度照射すると更に生存率が上昇した。これらの結果より、高線量照射でも生育する酵母株は放射線耐性を獲得していることが示唆された。

参考文献 1) A.Morillon, L.Beneard et al.: Mol.Cell.Biol. 22 (2002)

^{*1} 福井大・院工・生物化学、^{*2} 研究開発部 生物資源グループ

4.3.6.花き園芸植物へのイオンビーム照射による新品種の育成

Development of Commercial Varieties of Flowering Plants by Ion Beam Irradiation

鈴木勝久^{*1}、水野隆^{*1}、畑下昌範^{*2}、高城啓一^{*2}

Katsuhisa SUZUKI, Takashi MIZUNO, Masanori HATASHITA and Keiichi TAKAGI

栄養繁殖系の植物材料を用いることにより、照射当代において枝変わり変異を選抜することができれば、それらの変異体を挿し木や組織培養等の方法によって形質が安定な状態で増殖することで、短期間での新品種育成が期待できる。我々は、ビンカ (*Catharanthus roseus*) の吸水種子に、カーボンビームを照射、その後の変異体の選抜を行うことにより、新品種の作出を試みた。その結果、花に刷毛目状の斑が入った花色変異体を2系統選抜し、それらの特性調査を行い、形質の安定性も確認した上で、せと福 CAMR およびせと福 UMR として、品種登録を行ってきた。

花の販売においては、シリーズ化が重要なポイントであり、特に色のバリエーションが求められる。しかし、現状では、同一花型に1種類の斑入り変異体しかない。そこで、斑入り変異体で花色のシリーズ化を図るため、(1)せと福 CAMR の植物体へのイオンビーム照射、および(2)せと福 UMR と同じ花型を示す交配カミホン UP (ピンク)、交配カミホン UR (レッド)、交配カミホン UB (ブルー) の植物体へのイオンビーム照射を行い、同一花型で花色の異なる斑入り変異体の作出を試みている。花に刷毛目状の斑が入った花色変異体が複数得られており、それらの特性調査および形質の安定性の確認を行っている。

^{*1} ハクサンインターナショナル株式会社、^{*2} 研究開発部 生物資源グループ

4.3.7.イオンビームによる植物工場用野菜の新品種開発

Development of New Varieties of Green Vegetables which are Suitable for the Green Factory by Ion Beam Breeding

畑下昌範^{*1}、大城閑^{*2}、高城啓一^{*1}、井村裕治^{*3}

Masanori HATASHITA, Shizuka OHKI, Keiichi TAKAGI and Yuji IMURA

近年、天候や場所にとらわれない連続生産が可能であり、無農薬、高栄養価などの高付加価値の作物を作る植物工場による農業生産が行われてきている。こうした人工的な栽培環境の制御下において作物を周年生産するシステムにおいては、環境制御にかかるコストを低減することが課題であるが、品種毎による栽培条件や植物工場に適した品種の選択については、未着手の状態である。本研究においては、葉菜類などの野菜に対する組織培養技術とイオンビーム育種技術とを組合せた新しい育種技術及び栽培環境条件の最適化などにより、短期間で高生長する植物工場に適した高生産性品種を開発する。こうした取り組みを通じて、工業化された植物生産にかかる環境負荷の低減を図る。

平成 20 年度に組織培養条件を確立したレタス 6 品種について、無菌栽培した個体を用いて葉片を 7900 カット、再分化最適培地に置床し、イオンビームを照射した。その後再分化を促し、幼苗を得た。照射葉片からの再分化個体数は葉片あたり 1～3 で、葉片あたりの再分化数が 1 としても、約 7000 個体は再生できた。このうち、非照射区と比べて生育の早い個体を 1 品種あたり 50 個体残した。

温度、光量、照明時間を変化させて、レタスを栽培した。経時的にレタスを抜き取り、湿重量、乾物重を測定した。その結果、照明時間の増加とともに生長は促進され、光量の増加はある照度まで生長は促進されるものの、それ以降は横ばいであった。また、温度の増加とともに生長は促進されるがある値を過ぎると抑制された。炭酸ガス濃度については 1000ppm までの増加により生長は促進されることが明らかになった。

^{*1} 研究開発部 生物資源グループ、^{*2} 福井県立大学、^{*3} 福井シード株式会社

4.3.8.活性汚泥からのリン資源回収に用いる微生物の研究開発

Research and development of microorganisms used for phosphorus recovery from activated sludge

田中良和*

Yoshikazu TANAKA

リンは、生物が生きていく上で必須の元素であり、現在の食糧生産を維持するために欠かせないものであるが、日本で産出されないリン鉱石の埋蔵量は世界中で約 40～50 年分と予測され、その価格は近年 2～5 倍に高騰している。一方、下水処理場から排出される余剰汚泥は、日本の年間輸入量に匹敵するリンを含有しながらも、その殆どが未利用のまま廃棄されている¹⁾。本研究では、下水処理場の活性汚泥中からリン資源を回収するため、リンの固定に関わるリン蓄積細菌を選抜し、リン蓄積能力が飛躍的に向上した変異体細菌の作成を行うことにより、資源の有効利用及び環境保全に資することを目的とした。本年度はリン回収能力を有する微生物を新規に見出すために、敦賀市内の河川及び土壌を採取し、その中に含まれる微生物群の Total DNA を抽出した。その後、Polymerase Chain Reaction (PCR) を用いて、16S rDNA の増幅を行った。更に、リン蓄積細菌がもつ特定 DNA 配列から合成 DNA プライマーを作成し、PCR によってリン蓄積細菌の検出を行った²⁾。この DNA 試料を denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) 法を用いて分離解析した。その結果、5 つの土壌試料中から、リン蓄積細菌に特異的と思われる DNA 断片の増幅を確認することができた。現在、これらの試料中からリン蓄積能を有する微生物を単離培養することを目的として、培養条件の検討を行っているところである。

参考文献

1) 黒田章夫、滝口昇他 J.Environ.Biotechnol., 4, (2) 87 (2005)

2) Gregory C, Philip P et al.: Appl. Environ. Microbiol., 66: 1175 (2000)

*研究開発部 生物資源グループ

本研究は、(財) 若狭湾エネルギー研究センターが福井県の受託研究として実施した。

4.3.9.木質バイオマスからのエネルギー生産研究

Research and Development of Energy Production from Woody Biomass

遠藤伸之*、田中良和*

Nobuyuki ENDO and Yoshikazu TANAKA

バイオマス資源は、化石燃料資源の代替として利用することで二酸化炭素排出が抑制でき、環境調和型の新エネルギーとして期待されている。特に木質系バイオマスは、食糧と競合しない植物資源で、狭い国土で大半が森林を占める我が国では重要な資源である。しかし、現状では木質系バイオマスのエネルギー化は直接燃焼して熱源として利用する以外には実用化段階になく、利便性が高いメタン・アルコール等への変換技術開発が強く求められている。現状の技術で木質バイオマスを分解するには、投入するエネルギーが大きく、環境負荷も大きい。そこでエネルギー投入量が少なく、環境負荷の小さい生物反応によって、木質バイオマスからエネルギー物質を高効率に生産することを目的とした研究を実施している。本研究では、杉、松、ヒノキなどの木片からのバイオエタノール生産を目的とし、木材の主成分であるセルロース、リグニンを分解、糖質化する能力を持つ木材腐朽菌に対して遺伝子改変技術などを用い、反応の遅い木質バイオマス資源分解を加速、高効率化する生物反応の高機能化研究を実施している。また、併せて低いエネルギー投与で生物反応を加速させる前処理法の開発と、前処理からエタノール生成までを流通的に処理できるシステムの構築を行い、更なる高効率化を目指している。

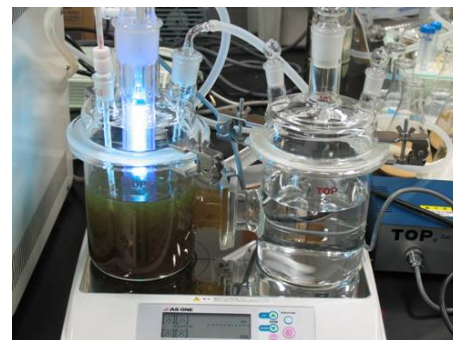


図 試作した反応装置

*研究開発部 生物資源グループ

本研究は、(財) 若狭湾エネルギー研究センターが福井県の受託研究として実施した。

4.3.10.二酸化炭素の光還元による固定化と有用物質生産

Useful Substances Production by Photo-Chemical Reduction of CO₂

遠藤伸之*

Nobuyuki ENDO

現代社会は化石燃料にエネルギー源の大半を依存しており、資源の枯渇や化石燃料の使用によって排出される二酸化炭素の環境への影響が大きな問題となっている。化石燃料からの脱却は究極の目標であるが、目標に至るまでの道のりは遠く、暫定的であっても環境と調和したクリーンエネルギーの開発が望まれている。このような社会的ニーズの増加の中で、地球温暖化の原因として排出削減が必須となっている二酸化炭素を固定化し、炭素源として他の物質と反応させて利用し、有用な資源に変換して利用する技術開発の研究を実施した。二酸化炭素の反応には光を利用し、エネルギー投与を極力小さくすることで環境負荷が低いクリーンなエネルギーとして生産することを目指す。本研究では安価で単純な構造の化学種を組み合わせることで低コスト化を目指した研究開発を行う。本年度は、既製で入手可能な蛍光色素のうち代表的な13種の蛍光色素について、蛍光特性(吸収する光の波長や強度)を測定し、得られた結果から光増感反応を試み、反応性の高い分子が生成している事を明らかにすることができた。そのうち4種は二酸化炭素が関与する反応が確認できた。また、光増感反応を評価する測定手法として電子スピン共鳴装置を利用した新しい手法を確立しつつある。この手法は本研究だけでなく、医学薬学研究にも応用可能な手法である。最終的にはこれらの成果を利用して、資源循環型社会の形成ならびに地域生産・利用型の産業形成を目指す。



図 電子スピン共鳴装置を用いた光反応測定

*研究開発部 生物資源グループ

本研究は、(財) 若狭湾エネルギー研究センターが福井県の受託研究として実施した。

4.3.11. ルチンとタンパク質の化学的相互作用による抗酸化性変化

Changes in Antioxidative Activity of Rutin Solution by Chemical Interaction with Protein.

栗津原理恵^{*1}、遠藤伸之^{*2}

Rie AWATSUHARA and Nobuyuki ENDO

I. 緒言

ソバは、抗酸化性などの生理作用を有するルチン(図-1a)を多く含む唯一の穀物であることから、健康食品素材としての期待が高い。高ルチン系統ソバ種の開発研究が進み、その流通量も増加傾向にあるが、ルチン含量を高めることによるソバ加工品の品質および機能性への影響は不明な部分が多い。ソバ食品の製造では卵や牛乳などの数種の副材料が添加される。我々は、その加工過程に起こりうる変化として、ルチンとタンパク質の相互作用に着目した。機能性の高いソバ食品の加工条件を見出すことを目的として、ルチンにオボアルブミン(OVA)または分離乳清タンパク質(WPI)の加熱混合液をモデル試料として調製し、その化学的相互作用による抗酸化性の変化を探究した。

II. 方法

試料として、ルチン、ケルセチン(図-1b)、OVA、WPI、ゼラチンの各単独溶液および、ルチンもしくはケルセチンに O 各タンパク質を加えて加熱した溶液を用いた。試料溶液のペルオキシラジカル消去活性の評価は、アゾ化合物の一種 AAPH をラジカル発生剤に用い、酸素共存化で発生したペルオキシラジカルをルミノール化学発光で検出する方法(AAPH-CL 法)¹⁾を用いた。ヒドロキシルラジカル(OH ラジカル)消去活性の評価は、捕捉剤にニトロソ化合物 CYPMPPO、OH ラジカル発生源として過酸化水素水—紫外線照射系を用いたスピントラップ ESR 法²⁾で行った。ルチンとタンパク質の分子量変化はゲルろ過クロマトグラフィーを用いて確認した。化学的相互作用の有無は、混合・加熱前後の溶液について可視紫外線吸収スペクトルを測定して変化を確認した。

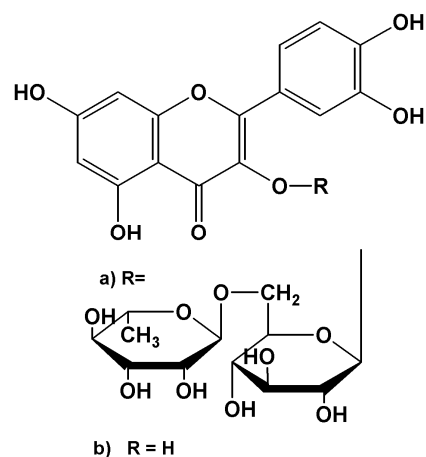


図-1 ルチン(a)とケルセチン(b)の構造式

III. 結果と考察

AAPH-CL 法による測定では、WPI のペルオキシラジカル捕捉活性はルチンより高く、ルチン-WPI 混合試料ではさらに捕捉活性の向上が認められた。OVA もルチンとの混合により、単独試料よりも捕捉活性が高くなることが確認された。一方スピントラップ ESR 法による OH ラジカル捕捉活性測定では、ルチンに高い捕捉活性は認められなかったが、WPI 混合の場合でのみ相乗効果が認められた。つまり、ルチンと混合するタンパク質の種類により抗酸化能を発揮するラジカルが異なり、その強度も変化することを示唆している。ゲルろ過クロマトグラフィーで各混合試料の分子量分布を分析すると、OVA および WPI ともにルチン添加により高分子化の促進が認められた。また、ルチン-OVA およびルチン-WPI 混合試料の可視紫外線吸収スペクトルは、それぞれ単独試料の固有スペクトルとは異なり、化学的構造の異なる物質へと変化していることが判明した。ルチンのアグリコンであるケルセチンでも同様の傾向がみられたことから、一連の変化にケルセチン構造部が関与していることが認められた。比較として繊維状タンパク質(ゼラチン)をルチンに混合した場合は、高分子化および抗酸化能の有意な向上が認められなかった。以上の結果より、ルチンは OVA および WPI のような球状タンパク質の構造を変えることにより、抗酸化能を向上させることが推察される。その因果関係は今後の検討課題であるが、ソバ粉にタンパク質食品を混合し加熱加工することは、ソバ食品の機能性を向上させることに寄与することは明らかである。

参考文献

- 1) S. Kitao, K. Fujii et.al.: J. Food Sci. Tech. Res., 11, 318-323, (2005)
- 2) N. Endo, S. Oowada et. al: J. Clin. Biochem. Nutr., 45, 193-201, (2009)

^{*1}金沢学院短期大学 食物栄養学科、^{*2}研究開発部 生物資源グループ

4.3.12. 電子スピン共鳴(ESR)装置を利用した共同研究 Report of Joint Researches Using Electron Spin Resonance Spectrometer

遠藤伸之^{*1}

Nobuyuki ENDO

要約

電子スピン共鳴(ESR)装置は、フリーラジカル等の不対電子を持つ化学種を、特異的かつ高感度に分析することのできる優れた装置である。若狭湾エネルギー研究センターには X-band および Q-band 発振器に加え、光照射装置、温度可変装置など種々の付帯設備を備えた測定装置が設置されており(図-1)、様々な測定に対応できる。若狭湾エネルギー研究センターでは、この ESR 装置を用いた研究活動及び共同研究を実施しており、その中の大学等との共同研究について報告する。

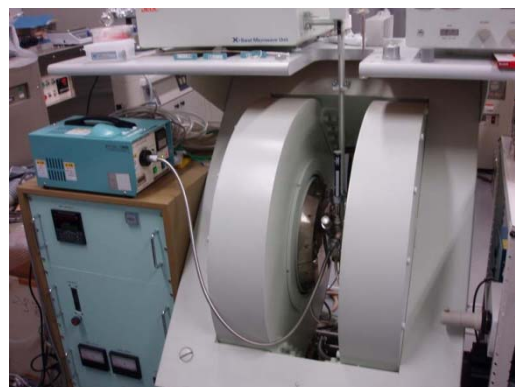


図-1 若狭湾エネルギー研究センターに設置されている ESR 装置外観

I. 放射線で生成するラジカル種の検出技術に関する研究

現在日本国内では食品への放射線照射は、ごく一部を除いて認められていないが、海外では多くの食品に対して用いられており、国内でも拡大する方向で進んでいる。放射線照射の有無は外見上の変化を伴わないため、照射歴を評価する手法いわゆるトレーサビリティシステムの確立が求められているが、現在のところ存在しない。いくつかの無機塩では γ 線が照射されると、無機塩中に安定なフリーラジカルが照射線量に依存して生成し、ESR 装置で測定できることが知られており¹⁾、当センターでもいくつかの化学種に対して同じ現象が起こることを明らかにしている。食品中に含まれる成分中で、これらと同様の安定なフリーラジカルが γ 線照射で生成し、ESR 測定が可能であれば放射線照射歴の評価に応用できる。本年度は、数種の有機物、食品等に対して γ 線、X 線を照射(海外で利用されている程度の線量)し、被照射物に対して ESR 測定を実施し生成するフリーラジカルを測定、信号解析を行い線量依存性や安定性を評価した。また、放射線被照射物を他の試料へ混合したときに二次的に生成するフリーラジカル種についても同定と挙動解析を試みた。4種の有機塩類、2種の乾燥食品に対して 1~20kGy の γ 線照射を実施し、生成・残留したフリーラジカルを ESR で測定したところ、食品中のフリーラジカルは照射直後では線量に依存した強度の信号が観測されたが、減衰が速く1週間後では線量に依存しない強度で、照射後とは異なる信号に変化した。有機カルシウム塩では線量に依存した信号(図-2)が長時間安定に存在することが確認できたが、観測された信号は非常に複雑で、どのようなフリーラジカル種が生成しているのかの同定までには至らなかった。今後観測される信号を解析し、生成するフリーラジカル種の同定と挙動解析を継続して行う予定である。



図-2 有機カルシウム塩に 20kGy の γ 線を照射した試料から得られた ESR 信号

本研究は、宮崎大学医学部との共同研究で実施した。

II. 細胞内で生成する活性酸素種の測定技術に関する研究

好気性生物は酸素を利用して生命を維持しているが、エネルギー生産の過程で大量の活性酸素種と呼ばれる酸素由来の高反応分子を生成している。これらは免疫や殺菌など有益な働きにも利用される一方、老化や発ガンなど生体への障害も引き起こすことが知られている。活性酸素種は反応性の高さ故に寿命が短く、生体内での生成や消去の機構など詳細な挙動は推測でしかない場合が多い。一般的には活性酸素種の同定定量は

^{*1}研究開発部 生物資源グループ

発光試薬を用いた化学発光量の測定、蛍光試薬による蛍光強度の変化等を測定して実施しているが、これらの方法は特異性が低く、活性酸素に由来しない変化を観測している場合も多い。また、種々の活性酸素種のうちどれであるかを特定することは困難である。ESR 装置の利用は短寿命な活性酸素種を選択的に同定定量する手法として着目されている。しかしながら操作が煩雑で測定結果解析の難易度が高い ESR 法は、生命科学分野への利用はあまり浸透していないのが実情である。本研究では、細胞内で活性酸素が原因で引き起こされている作用と推定されているが、既存の測定法では活性酸素の測定ができず、詳細について解明できない系に ESR 測定を実施し、活性酸素の影響があることを明らかにすることを目的とした。本年度はこれまでに報告例の少ない一重項酸素の細胞への影響の解明を目指した。ヒト由来培養細胞に、一重項酸素を生成する薬剤を投与して培養し、細胞死や増殖能といった生理作用と、細胞内に生成する一重項酸素を含む活性酸素種に対する ESR 測定を併せて行い(図-3)、細胞の生理作用と薬剤の効果比較を実施した。これにより、一重項酸素が細胞死を誘発すること、一重項酸素を消去する薬剤が存在し、その投与によって細胞死を抑制できることを明らかにした。この結果を含む論文を投稿し、掲載された²⁾。

本研究は、京都大学医学部との共同研究で実施した。



図-3 捕捉剤に 4-oxo-TEMP を使用して得た一重項酸素の存在を表す ESR 信号

III. 生体試料の抗酸化能評価に関する研究

酸化ストレスは種々の病態形成に関与し、その臨床指標の確立は合併症予防や死亡率を減少させる意味で重要であることが知られている。これまでに様々な方法によって酸化ストレスを臨床指標として用いる検討がなされている。酸化ストレスを引き起こす化学種は種々あり、生体内では発生の原因はそれぞれ異なるため、個別に評価する手法が求められている。本研究では、酸化ストレスを引き起こす活性酸素種に対し、化学種毎にヒト由来血清試料に対する消去活性を精度よく評価する手法を確立することを目的とした。本年度は血清試料では残存する鉄イオンが消去活性評価に大きな影響を与えるヒドロキシルラジカルに対する評価法を、新しい試薬 CYPMPO³⁾を用いて検討した。健康人および透析患者の血清を試料とし、過酸化水素に紫外線照射を行うことでヒドロキシルラジカルの発生源とした。ヒドロキシルラジカルをスピン捕捉剤である CYPMPO で捉え、生成する CYPMPO-OH アダクトの信号(図-4)を ESR で測定した。この手法は既存法に比べて簡便で、かつ安定な測定結果を得ることができた。この結果をまとめ、論文として投稿し掲載された⁴⁾。



図-4 CYPMPO-OH アダクトの ESR 信号

本研究は、医療法人あさお会との共同研究の一部である。

参考文献

- 1) 池谷元伺、三木俊克 ESR 顕微鏡、シュプリンガー・フェアラーク東京 (1992)
- 2) Y. Nishinaka, H. Mori et al.: Life Sciences, 86, 808-813 (2010)
- 3) M. Kamibayashi, S. Oowada et al.: Free Radic. Res., 40, 1166-1172 (2006)
- 4) N. Endo, S. Oowada et al.: J. Clin. Biochem. Nutr, 45, 193-201 (2009)

4. 4. 分析照射物質創成研究開発

4. 4. 1. フッ素含有材料からの歯質への長期フッ素取込み量

Long-term Fluorine Uptake into Tooth from Fluoride-containing Materials

小松久憲^{*2}, 山本洋子^{*3}, 安田啓介^{*1}, 能町正治^{*4}, 菅谷頼仁^{*4}

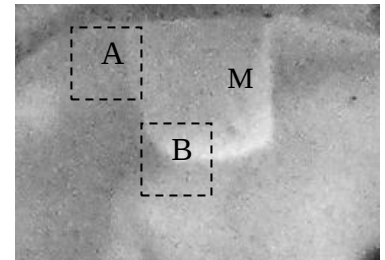
Hisanori KOMATSU, Hiroko YAMAMOTO, Keisuke YASUDA, Masaharu Nomachi and Yorihiro SUGAYA

I. 緒言

フッ素含有材料周囲歯質では、材料からフッ素が移行しフッ素濃度が上昇することや周囲 pH が低下すると材料からフッ素が溶出し再石灰化を促進させることによって、齲蝕の進行が抑制されると考えられている。本研究では、若狭湾エネルギー研究センターに設置されている PIGE/PIXE 装置を用いて、各種フッ素含有材料から周囲歯質へのフッ素の取込み量を検討した。

II. 材料と方法

フッ素含有材料 9 種をそれぞれヒト抜去歯に充填し、材料部を含むように頬舌的に切断、厚さ約 150 μm に研磨調整した。材料周囲歯質のフッ素濃度分布を、PIGE/PIXE 装置を用い、フッ素とカルシウム濃度測定により算出した。材料から離れた健全歯質のカルシウム量の 90% を示した部位を材料・歯質界面と規定した。測定領域は材料部 (M) を含む 1000 x 1000 μm の範囲 (A, B) とし、A (エナメル質) 部では水平に、B (象牙質) 部では垂直に線分析を行った (写真)。



III. 結果及び考察

図 1 に水中保存 1 年における界面からの距離 (μm) に対するフッ素濃度 (ppm) 分布を示した。今回使用した材料のうち、3 種が各距離でのフッ素濃度が少ないため、表示に加えられなかった。フッ素含有材料であっても、フッ素取り込み量に大きな相違があることが確認できた。象牙質では、TM を除く全ての材料で、エナメル質よりも多いフッ素取り込み量を示した。全体的に材料からのフッ素の取込み量は、材料との界面で最も多く、距離が離れるに従って濃度が低下するが、RI と SI では濃度の低下が少なかった。この相違の理由は不明であるが、フッ素が歯質に深く浸透することは耐酸性を獲得する層が厚くなる利点とも考えられる。界面でのフッ素濃度が高いことと耐酸層が厚いことのどちらの有効性が高いかを今後検討すべきものと思われる。

充填直後と 1 年後とのフッ素取込み量を比較したが、多くの場合、経時的にフッ素量が増加していたが、変化がない場合も確認された。

IV. 結語

齲蝕抑制効果を期待して多くのフッ素含有材料が市販されているが、それらの有効性は確立していないのが現状である。本研究で、PIGE/PIXE 装置を用いてフッ素含有材料からの歯質へのフッ素の取り込みを確認でき、更に材料間の相違を明確にできた。今後、PIGE/PIXE 装置の活用によって、更に材料間の相違を検討することで、フッ素含有材料の適切な選択基準の確立が可能と思われる。

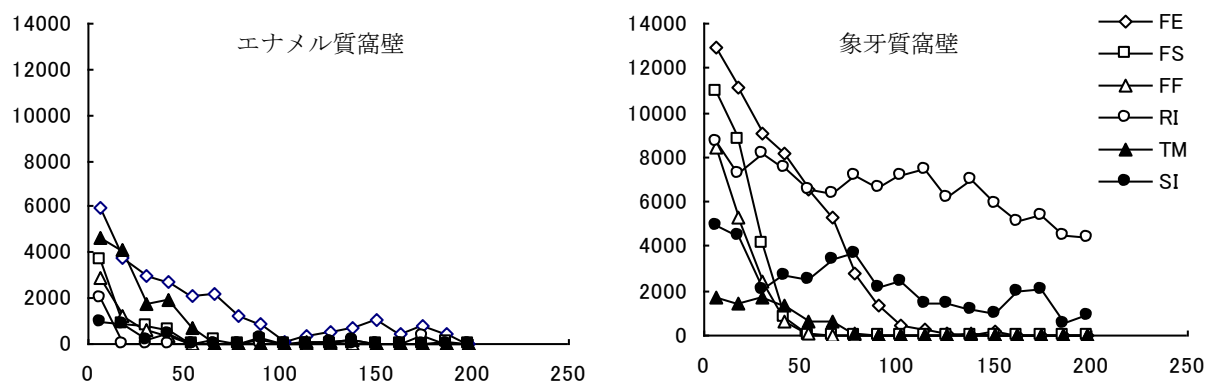


図 1 フッ素含有材料からの歯質への平均フッ素取り込み量 FE : FUJI IX GP EXTRA、FS : Fuji VII、FF : Fuji IX GP FAST、RI : RIVA S/C、TM : Teethmate F-1、SI : 松風社試作品 (SI-R20607)

^{*1} 研究開発部 エネルギー材料グループ
研究科、^{*4} 大阪大学大学院理学研究科
本研究は、若狭湾エネルギー研究センターと北海道大学、大阪大学との共同研究である。

^{*2} 北海道大学大学院歯学研究科、^{*3} 大阪大学大学院歯学研究科、^{*4} 大阪大学大学院理学研究科
本研究は、若狭湾エネルギー研究センターと北海道大学、大阪大学との共同研究である。

4.4.2.核共鳴後方散乱を利用した注入炭素イオンの深さ方向濃度分布の評価

Evaluation for Distributions of Implanted C ions by Nuclear Resonant Backscattering

戸崎充男^{*1}、安田啓介^{*2}、石神龍哉^{*2}

Mitsuo TOSAKI, Keisuke YASUDA and Ryoya ISHIGAMI

要約

Si 基板に炭素イオンを注入した試料（SiC）を作成し、陽子ビームを用いて炭素との核共鳴現象を後方散乱で測定することにより、注入炭素イオンの深さ方向の濃度分布測定法を確立し、その実用性を検証することを目的とする。この注入試料を想定した成膜試料で試みた結果を報告する。

I. 緒言

炭素を含むシリコンを標的として陽子の後方散乱で観測される共鳴散乱ピークの詳細な解析により、標的内部の炭素濃度分布評価が可能である。入射陽子が炭素とシリコンと共に共鳴反応をすることにより、この2つの共鳴を相補的に解析することで、深さ方向の注入イオン濃度分布測定の実用性を検証した。若狭湾エネルギー研究センターで炭素イオン注入試料を作成し、また成膜法で厚さをコントロールしてシリコンと極薄膜の炭素を積層した試料を作成して、本手法の検証をした。

II. 実験方法・結果

この研究では、これまで京都大学のタンデム加速器で開発した RBS 実験手法を応用する¹⁾。濃度分布評価の実験（RBS）は、京大タンデム加速器施設で行った。若狭湾エネルギー研究センターで、成膜法による試料とイオン注入による試料の2種類の試料を作成した。Si 基板上に炭素および Si の厚さを制御して積層した試料（炭素厚 80nm に Si 厚 5 μ m、及び 10 μ m の2種類積層試料）とした。また Si 基板に炭素イオンを注入した試料（入射エネルギー 5 MeV と 10 MeV で炭素イオン注入：深さは 5 μ m 及び 10 μ m に相当）を作成した。これらの試料を、入射イオンの陽子と核共鳴反応（共鳴エネルギー 4.8 MeV：半値幅 10 keV）を起こさせ、RBS スペクトル上に観測される共鳴ピークプロファイルの詳細に調べることで、深さ方向及び炭素濃度を評価した。

III. 結論

当初、炭素と陽子の共鳴散乱だけに着目していたが、シリコンと陽子の間の共鳴散乱（共鳴エネルギー：4.87 MeV、半値幅 8 keV）が利用できることが分かった。炭素との共鳴のエネルギー（4.8 MeV）とも近く、また相補的な振る舞いをするを RBS スペクトル上で観測することができた（図-1）。つまり、Si をベースに炭素（微量）に着目した場合、陽子は炭素と共鳴することでエンハンスされ、炭素の鋭い共鳴ピークが RBS 上で観測される。一方、陽子が Si で共鳴することに着目した場合、微量の炭素は Si と陽子の鋭い共鳴を乱すことになる。したがって、この Si の共鳴ピークのプロファイルは、炭素の分布に関連した場所（深さ）で乱される（分布）ことになる。

この明確で詳細な実験的検証は、成膜で作成した試料で確認できた。しかし、炭素イオンを注入したサンプルに対しては、成膜ほど明確に（統計の良い）実験データは得られていない。深さまでは評価できるが、濃度分布の評価には相方の共鳴の振る舞いの詳細な解析が必要である。

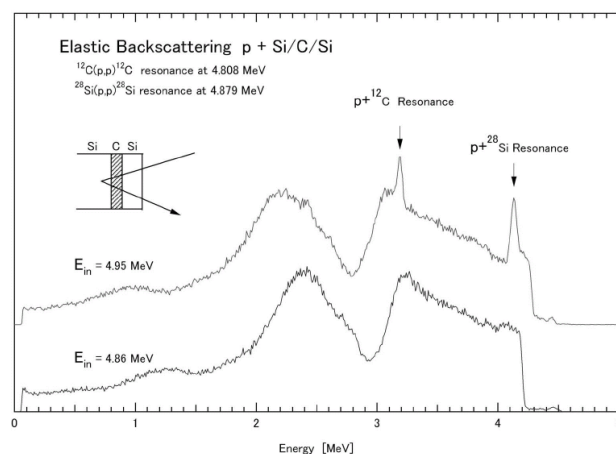


図-1 Si 基板上に炭素および Si の厚さを制御した積層試料（炭素厚 80nm に Si 厚 5 μ m）による入射エネルギー 4.95 MeV の陽子の後方散乱スペクトル。注入を想定した炭素薄膜からの核共鳴ピークと基板の Si による核共鳴ピークが観測される。共鳴より低い入射エネルギー 4.86 MeV ではピークは観測されない。

参考文献

- 1) M. Tosaki: J. Appl. Phys., 99, 034905, (2006)

^{*1} 京都大学 放射性同位元素総合センター、^{*2} 研究開発部 エネルギー材料グループ 本研究は（財）若狭湾エネルギー研究センターが京都大学 放射線同位元素総合センターとの共同研究である。

4.4.3.TOF-ERDA による Li 化合物の分析
Measurements of Li compound by mean of TOF-ERDA
日比章五^{*1}、安田啓介^{*2}
Shogo HIBI, Keisuke YASUDA

要約

財団法人若狭湾エネルギー研究センターで開発が進めれている飛行時間型弾性反跳粒子検出法 (TOF-ERDA)¹⁾を用いてリチウム化合物の測定を行った。検出元素の収率が低く、検出効率向上が必要であった。

I. 内容

TOF-ERDA 法は軽元素分析の有力な手法の1つである。更に原理的には全元素の検出が可能である。この手法をリチウムイオン2次電池材料の分析に適応して定量評価の可能性を検討する。今回、標準試料として市販のリン酸リチウム粉末をペレット状に加工して測定を行った。図1に示すように、全ての構成元素(Li,P,O)、及び不純物(H,C)が検出されたが、各元素の収率が低かった。微量の添加元素等の定量評価を行うためには検出効率の向上が課題である。

参考文献

- 1) K.Yasuda et al.:若狭湾エネルギー研究センター成果報告(平成 20 年度)

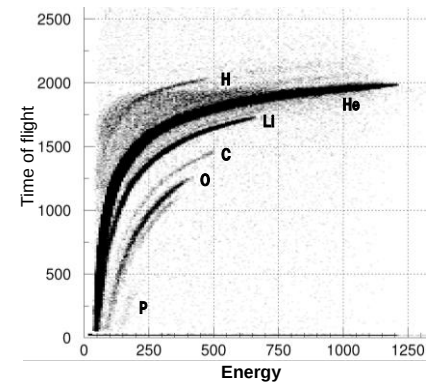


図 1 . リン酸リチウムの TOF-ERDA スペクトル

^{*1} 豊田中央研究所、^{*2} 研究開発部 エネルギー材料グループ 本研究は(財)若狭湾エネルギー研究センターと豊田中央研究所との共同研究である。

4.4.4. 茶葉中アルミニウムのマッピング

Elemental Mapping of Aluminum in Tea Leaf

春山洋一^{*1}、高橋希佳^{*1}、斉藤学^{*1}、安田啓介^{*2}

Yoichi HARUYAMA, Kiyoshi TAKAHASHI, Manabu SAITO and Keisuke YASUDA

Abstract

We have measured elemental distribution in a leaf of tea which is known as a hyper-accumulator of aluminum using micro-beam PIXE with 2.5 MeV He ion. Elemental mapping of a tea leaf cross section shows that aluminum accumulates considerably within a thin layer near upper side of a leaf. A strong elemental correlation of aluminum and silicon distribution is observed adxial side mapping.

要約

2.5MeV ヘリウムイオンを用いたマイクロビーム PIXE 法でアルミニウム集積植物であるチャノキの葉に含まれる元素分布を測定した。土壌で栽培された茶葉の断面測定では表面付近にアルミニウムが集中して集積していることが判明した。表面の測定からはアルミニウムとシリコンの分布が非常に高い相関をもっていることが分かった。

I. 緒言

チャノキは多くの植物にとって毒であるアルミニウムを高濃度に蓄積している。アジサイやソバなど他にもアルミニウムのハイパーアキュムレータは知られているが、チャノキはアルミニウムが不足すると成長に支障をきたすという特異的な性質をもっている。茶葉中でアルミニウムがどのような挙動・分布を示しているのかを細胞レベルで把握することは植物生理の観点からも興味深い。若狭湾エネルギー研究センターのマイクロビーム装置は空間分解能で $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ 程度あり、細胞毎の元素分布測定には十分な性能がある。我々は、ヘリウムビームを用いたマイクロビーム PIXE を用いて、茶葉中のアルミニウムを含む諸元素の分布を測定することにした。茶葉に含まれ、ヘリウムビーム PIXE で測定できる元素はマグネシウムからマンガン付近までの元素であるが、ここでは、アルミニウム、シリコン、カリウム、カルシウムの元素分布とそれらの相関について予備的な測定の結果を述べる。

II. 実験と結果

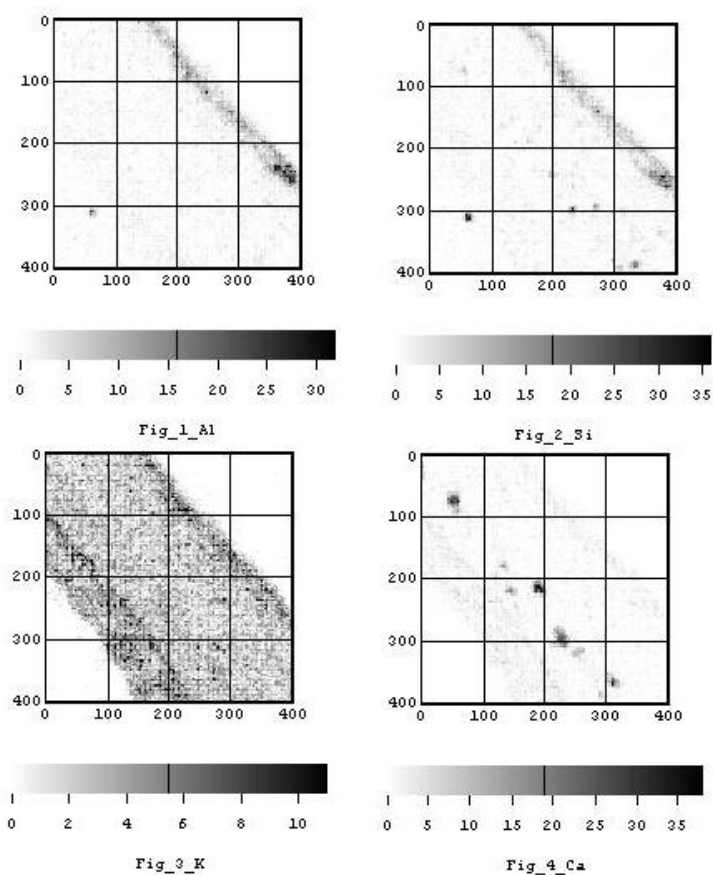
測定試料には品種の違いや生育歴の違いを明確にするために京都府茶業研究所からアサヒという品種を提供していただいた。新芽が出てから1ヶ月程度の間隔で茶葉を採取した。同時に苗木の水耕栽培を行い、こちらは水耕開始時から一日ごとに十日ほど葉を採取した。断面分布の測定には茶葉を洗浄、凍結乾燥したものを厚さ 1 mm 程度の断面に切り出したもの、表面分布には凍結乾燥した茶葉をそのままカーボン板に貼り付けたものを試料とした。測定に用いたビームは 2.5MeV のヘリウムビームで、ビーム径は細胞サイズ以下の $10\mu\text{m}$ とし、検出器前にアブゾーバを兼ねた $6\mu\text{m}$ マイラー膜を設置した。

以下、土耕栽培された茶葉の断面測定結果について簡単に述べる。断面の走査範囲は $400\mu\text{m} \times 400\mu\text{m}$ とした。ビーム電流はおおよそ 100 pA 程度であり、1 サンプル当たり 30 分から1時間の測定時間とした。

元素毎の空間分布は得られた X 線スペクトルに半値幅程度のゲートをかけて得たものである。したがって、特性 X 線と制動 X 線の区別はできていない。しかしながら、特性 X 線のカウントは制動 X 線の 3 倍程度あり、空間分布はおおむね正しいと判断できる。Fig. 1 から Fig. 4 に葉の断面のアルミニウム、シリコン、カリウム、カルシウムの元素分布を示す。図の下スケールは X 線カウントを示している。ビーム走査は $400\mu\text{m}$ を 256 分割しており、照射点間の距離はビームサイズの $10\mu\text{m}$ より狭い $\sim 1.6\mu\text{m}$ 程度となっている。したがって、各照射点は互いに重なりをもっている。一点ごとのカウントが少ないため、図では 4 点分を加算しては $400\mu\text{m}$ を 128 分割したものを示している。この図で一点当たり最大でも 30 カウント程度である。図の右上が葉の表側に対応する。植物の葉の断面は、上部からクチクラ層、表皮細胞(表)、柵状組織と海綿状組織からなる葉肉組織、柵状組織と海綿状組織間には維管束、表皮細胞(裏)、クチクラ層となる。クチクラ層は主に蠟からなるもので X 線分析では観ることができない。葉全体のサイズは Fig.3 のカリウムの分布から推察でき、厚さはほぼ $300\mu\text{m}$ である。Fig. 1 のアルミニウムや Fig. 2 のシリコンで見えている部分が表皮細胞である。アルミニウムとシリコンは主に表皮細胞に集中して分布しているのが見て取れる。表側の表皮細胞の厚さはこの元素分布からは $20\sim 30\mu\text{m}$ 程度である。一方、Fig.3 に示したカリウムはアルミニウムなどが分布している付近でやや濃度が高いように見えるが、広く葉肉細胞全体

^{*1}京都府立大学生命環境科学、^{*2}研究開発部 エネルギー材料グループ

に分布している。また、裏の表皮細胞付近でも高い濃度分布を示していることが見て取れる。葉裏の表皮細胞が厚く見えるが、試料の傾きや照射による変形が原因だと思われる。Fig. 4 に示されたカルシウムもカリウム同様、葉全体に分布しており、表皮細胞でやや高い濃度分布を示している。しかし、カリウムとは異なり、非常に濃度の高いスポット状領域がある。スポットのサイズは 10~20 μm である。特定の細胞である可能性も否定できないが、葉断面に見えるカルシウムのスポットは、葉表面の測定から維管束であると推測される。



アルミニウムとシリコンの空間分布が似通っているのはFig. 1とFig. 2からおおよそ理解できるが、定量的に捕らえるために相関係数を求めた。相関係数は、元素 X の各セル(i,j)のカウントを、 X_{ij} と表すとき、X と Y の相関係数 C_{XY} を

$$C_{XY} = \frac{\sum X_{ij}Y_{ij}}{\sqrt{\sum X_{ij}^2} \sqrt{\sum Y_{ij}^2}}$$

として求めた。求めた相関係数を表 1 に示す。アルミニウムとシリコン、カリウム、カルシウムとの相関係数は 0.73, 0.43, 0.17 であり、アルミニウムとシリコン間の相関の高さが伺える。アルミニウムの空間分布やアルミニウム-シリコン相関関係はアルミニウムの生体内活性や無毒化のプロセスについて新たな知見を与えるものである。

表 1. 元素分布の相関係数

	Si	K	Ca
Al	0.73	0.43	0.17
Si	—	0.42	0.22
K	—	—	0.35

今後、生育歴の違いや、土耕・水耕による元素分布の違いをより詳細に調べると共に、将来的には大気マイクロビーム PIXE や PIGE を用いて凍結乾燥した試料ではなく、生体試料を用いた元素分布測定を試みる予定である。

4.4.5. イオン注入による鉄白金系薄膜磁石の磁気特性の改良

Improvement of magnetic properties of Fe-Pt magnetic thin films by ion implantation

石神龍哉^{*1}

Ryoya ISHIGAMI

Abstract

Magnetic properties of Fe-Pt thin film are improved by means of ion implantation of carbon and/or nitrogen ions into multi-layer Fe/Pt films and postannealing. The multi-layer films are deposited on silicon wafers with oxidized layers. Thicknesses of the Fe/Pt double layers are 6 nm or 4 nm, and the number of the double layers are 17 or 25, respectively. Total thickness of the Fe/Pt films is 100 nm, and composition of the films is Fe:Pt=2:1. 50 keV C⁺ or 120 keV N₂⁺ ions are implanted. Heating conditions of the samples during the implantations are no heating (less than 90°C), 200°C or 300°C. The samples into which the C ions are implanted have magnetic anisotropy in the direction perpendicular to the sample surfaces by heating due to the ion implantation. The ion implantation of nitrogen makes coercivity in the directions parallel and perpendicular to the sample surfaces larger.

要約

Fe/Pt 多層膜に炭素又は窒素をイオン注入し熱処理することにより、Fe-Pt 系薄膜磁石の磁気特性の改良を行った。Fe/Pt 多層膜は、表面に酸化膜を形成した Si ウェハ上にて作製された。Fe/Pt 二重層の厚さは 6 nm 又は 4 nm で、二重層の繰り返し数は 17 回または 25 回とした。Fe/Pt 多層膜の厚さは約 100 nm で、多層膜全体における Fe と Pt の組成比は 2:1 であった。50 keV の C⁺イオン又は 120 keV の N₂⁺イオンが注入された。注入時の試料の加熱条件は加熱無し(90°C以下)、200°C又は300°Cとした。C イオンの注入では、イオン注入による加熱の効果が加わり試料面垂直方向への磁気異方性が現れた。N イオンの注入では水平方向と垂直方向の両方向への保磁力の増加が生じた。

I. 緒言

強力な薄膜永久磁石は、次世代の磁気記録メディア、MEMS (micro electro-mechanical systems)と呼ばれる微小電子機械素子の磁気アクチュエータ、磁気センサー等への応用が期待されている。現在は Nd-Fe-B 系永久磁石が最も強力であるが、すでに理論上の上限値に近い性能の製品が作製されているため、さらに強い磁石を作製するには別のアプローチの方法が必要である。鉄白金合金は磁気異方性定数が非常に大きく直径数 nm の微粒子であってもハード磁性を発現できるため、飽和磁化の大きい鉄とナノメートルスケールで混合することで保磁力と残留磁化がともに大きい永久磁石が作製できると期待されている。また、非常に大きな保磁力が発現できると予想されている。そのため鉄白金合金はこれまでに様々な厚さ、作製温度、組成、添加元素に対して作製され磁気特性が測定されている。

ここでは厚さ約 100 nm の Fe/Pt 多層膜を試料とし、非金属元素である C 又は N をイオン注入することで磁気特性を向上させる実験を行った。

II. 実験

成膜基板には、表面に酸化膜を形成した Si ウェハを用いた。Fe/Pt 多層膜は基板温度を 100°C に保って成膜した。電子ビーム蒸着装置を用いて Fe と Pt を交互に成膜した。Fe/Pt 二重層の厚さは 6 nm または 4 nm とし、それを 17 回または 25 回繰り返した。Fe と Pt の組成比は 2:1 とした。ただし、Fe/Pt 多層膜の成膜前に、膜の密着性を向上させるため、600°C で Pt を 10 nm 成膜した。成膜チャンバーの基底真空度は 2×10^{-5} Pa であった。作製した Fe/Pt 多層膜の正確な厚さは、SEM による断面観察から、両方とも 97 nm であった。

50 keV の C⁺または 120 keV の N₂⁺が Fe/Pt 多層膜に注入された。注入量は 7×10^{16} 、 2.5×10^{17} または 4.5×10^{17} atoms/cm² とした。注入されたイオンが多層膜中に均一に分布したとき、C および N の組成比はそれぞれ 9.2%、26%及び 39%となる。注入時の試料の加熱条件は、加熱無し(90°C以下)、200°C又は300°Cとした。試料温度は、試料を固定した試料台で測定した。注入時、試料の背面に磁束密度 0.29 T の Sm-Co 永久磁石を置き、試料表面に磁束が通るようにした。イオン注入された試料は、赤外線ランプアニール装置により、真空中で

*1研究開発部エネルギー材料グループ

本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが関西電力、北陸電力、日本原子力発電の受託研究として実施した。

550℃または 650℃で 15 分間熱処理された。この装置の基底真空度は 4×10^{-5} Pa 以下であった。

試料の磁気ヒステリシス曲線は、試料振動型磁力計により測定された。この装置でヒステリシス曲線を測定するため、試料は典型的な大きさとして 3 mm×2 mm に切断された。掛けられた磁場は最大 40 kOe である。

III. 実験結果

1. C イオン注入

C イオンの注入は Fe/Pt 二重層の厚さが 4 nm の試料に対して行われた。注入した試料は、熱処理前、550℃ 15 分及び 650℃ 15 分の熱処理後にヒステリシス曲線が測定された。熱処理前にはほとんどの試料が、保磁力を持たないソフト磁性を示したが、300℃で注入量 2.5×10^{17} atoms/cm² の試料は保磁力を示した。これは、試料が試料台と密着していなかったためイオン注入により熱が逃げず、温度が上がったためと考えられる。

この試料は熱処理後も、他の試料と比較して大きく異なるヒステリシス曲線を示した。650℃の熱処理後におけるこの試料と、イオン注入の効果がほとんど現れなかった、加熱無しで 7×10^{16} atoms/cm² の C イオンを注入した試料のヒステリシス曲線をそれぞれ図一1(a)および(b)に示す。横軸が外部から掛けた磁場、縦軸が試料の体積磁化である。赤線が試料面水平方向、青線が垂直方向のヒステリシス曲線である。これらの図から、(b)では水平と垂直で残留磁化がほぼ同じであり、体積磁化 0 付近において水平方向の方が垂直方向より傾きが急であるが、(a)では垂直方向の方が残留磁化が大きく、傾きはほぼ同じである。最大エネルギー積は、(b)では水平方向と垂直方向でそれぞれ 90.4 kJ/m³ 及び 65.8 kJ/m³ であるが、(a)ではそれぞれ 48.5 kJ/m³ 及び 102.4 kJ/m³ となった。これは、(b)の試料は試料面垂直方向が磁化容易軸であることを示している。

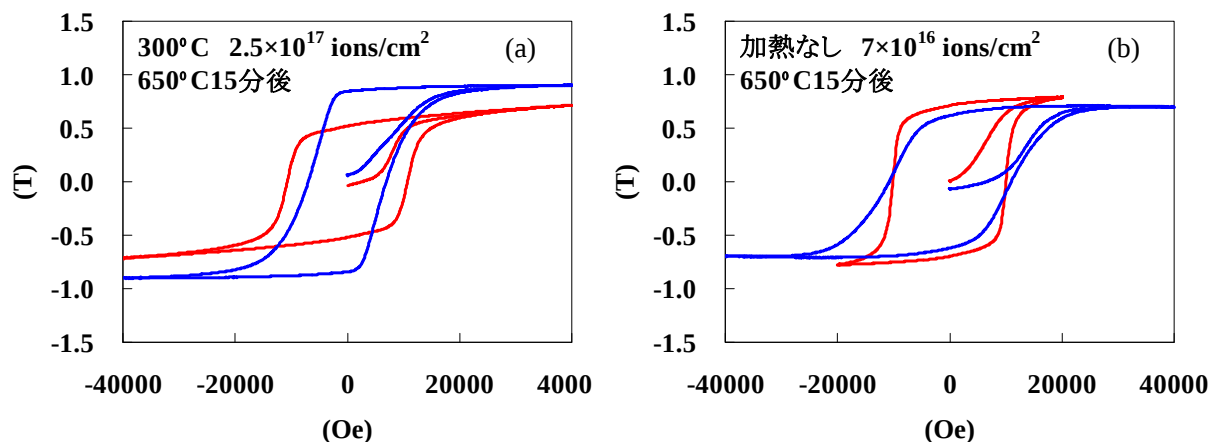
イオンビームにより永久磁石の磁化容易軸の方向を変更する手法が確立されれば、同一面内に磁化容易軸の異なる領域を形成する手法として、記録媒体のトラック形成など様々な分野に応用可能と期待される。

2. N イオン注入

N イオンの注入は Fe/Pt 二重層の厚さが 6 nm の試料に対して行われた。イオン注入されていない試料の 650℃の熱処理後における水平方向及び垂直方向の保磁力がそれぞれ 9.9 及び 8.0 kOe であるのに対し、注入量が 7×10^{16} atoms/cm² の試料は、それぞれ 8.9~9.4 及び 9.4~10.0 kOe であった。注入量が 2.5×10^{17} atoms/cm² の試料は水平方向、垂直方向ともに保磁力が増加し、それぞれ 12.1~13.0 及び 12.4~13.6 kOe の保磁力を示したが、注入量を 4.5×10^{17} atoms/cm² とすると保磁力は減少し、それぞれ 10.3~11.4 及び 10.5~11.1 kOe となり、残留磁化も減少した。

IV. 結語

電子ビーム蒸着法により作製された、組成比 Fe:Pt=2:1 で厚さ 100 nm の Fe/Pt 多層膜試料に炭素又は窒素をイオン注入法で添加して熱処理することで、FePt 系薄膜磁石の磁気特性の向上を行った。試料の背面に永久磁石を置いた状態で炭素イオンを照射することで、照射による温度上昇の効果により磁化容易軸が試料面水平方向から垂直方向に変化するという結果が得られた。また、窒素を 2.5×10^{17} atoms/cm² 注入し 650℃で熱処理することにより、試料面水平方向、垂直方向ともに保磁力が増加した。



図一1 C を注入された Fe/Pt 多層膜試料の磁化ヒステリシス曲線。それぞれ、(a)試料温度を 300℃に設定して C を 2.5×10^{17} ions/cm² 注入した試料、(b)加熱せずに C を 7×10^{16} ions/cm² 注入した試料である。

4.4.6.組成分析と画像撮影機能を持つ可搬型 X 線分析装置の開発

Development of Portable X-ray Fluorescence Spectrometer with Radiography Function

チュルーンバートル バトチュルーン*1、安田啓介*1、川越光洋*2

Batchuluun CHULUUNBAATAR, Keisuke YASUDA and Mitsuhiro KAWAGOSHI

I. 緒言

動かすことが不可能な建築物の測定、あるいは測定のために持ち運ぶことが困難な美術品文化財などの分析には簡便な、電気供給がない所でも測定可能な、安全な装置が求められる。市販の X 線発生器、検出器、カメラなどを組み合わせて、上記の条件を備える、X 線撮影と蛍光 X 線分析が可能なポータブル X 線分析装置を試作した。

II. 装置の構造

ポータブル X 線分析装置は、X 線発生器 (Amptek 製 Mini-X)、検出器 (Amptek 製 XR-100CR)、X 線撮影用カメラ(Rad-Icon 製 Shad-o-Snap)、それぞれの、コントローラー、電源とデータ収集用 PC から構成される。X 線の遮蔽のために、これらの装置は厚さが 2mm のステンレスケース内に設置される。検出器、発生装置、カメラを一つの電源から供給するようにし、アダプターとバッテリー両方で動作するようにした。被爆防止の為に試料出し入れ扉にインターロックスイッチを設け、扉が開いているときは X 線が発生しないようにした。

III. テストの結果

装置の試験として、小カニを測定試料としてレントゲン撮影と蛍光 X 線分析を行った。小カニの X 線撮影写真と蛍光 X 線スペクトルを図 1、2 に示す。この測定の結果から、カメラの撮像素子の部分から強い蛍光 X 線が発生することが分かった。対策としてカメラにシャッター付カバーを付けて、蛍光 X 線分析を行う際はシャッターを閉じた状態ですることにした。

今後、感度評価試験と X 線漏洩検査を行う予定である。福井市一乗谷朝倉遺跡資料館と共同で文化財現物の測定を行うことによって実際の測定ニーズを把握し、更に装置の性能を向上させる。



図 1.小カニの X 線撮影写真

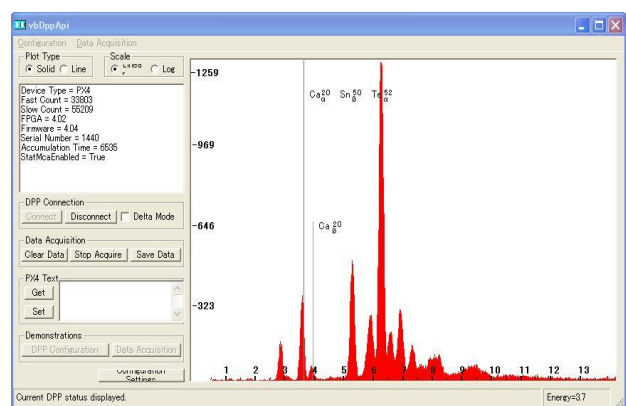


図 2.小カニの蛍光 X 線分析スペクトル

*1 研究開発部エネルギー材料グループ、*2 福井市一乗谷朝倉遺跡資料館

4.4.7. 無機酸化物光機能材料の開発

Research and Development of Novel Photofunctional Materials

西尾 繁^{*1}

Shigeru NISHIO

V_2O_5 中のバナジウム原子が可視光の照射によって可逆的に還元を受ける（フォトクロミズム）ことは以前から知られていた。この現象は以下に示すように表面に吸着した水の光分解を内包すると推測されている。

・明反応（着色過程）： V_2O_5 （橙）+ $xH_2O \rightarrow H_{2x}V_2O_5$ （青黒）+ $0.5xO_2 \uparrow$

・暗反応（脱色過程）： $H_{2x}V_2O_5$ （青黒） $\rightarrow V_2O_5$ （橙）+ $xH_2 \uparrow$

そこで、この推測を検証し、さらに実用的なクリーンエネルギー生産手段に昇華させる検討に着手した。

V_2O_5 の光還元効率の低く、殆どの分析手段を受け付けられないので、上のモデルを検証し、さらに実用技術に発展させるためにはまず光還元効率を大幅に向上させることが必要である。そこで表面積増大による感度向上を狙って、多孔質担体との複合化を検討した。その結果、非晶質シリカと複合化することによって、光還元効率が大幅に高まる事を見いだした（図1）。照射領域では水分解に由来する水素が $H_{2x}V_2O_5$ のかたちで貯蔵されていると期待される。

これは、担持することによって見かけ上 V_2O_5 の表面積が増したと同時に、シリカゲルの保水力によって水素の原料である水の供給がスムーズになった事に関連すると思われる。次年度以降の高精度なガス分析によって有意な量の水素（及び酸素）が検出されるものと期待される。

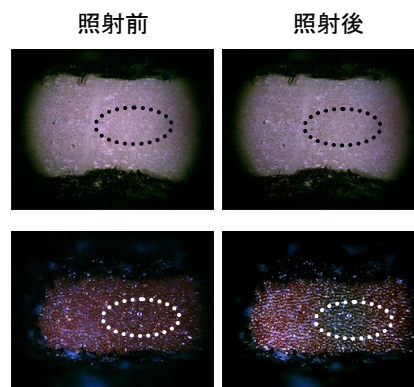


図1 約 3kPa の H_2O を含むアルゴン気流中で、可視レーザ（532nm-30W/cm²）を6時間照射したときの試料外観の変化：（上段） V_2O_5 、（下段） V_2O_5 -非晶質シリカ複合体。照射領域は破線で示した。

^{*1} 研究開発部 エネルギー開発グループ

本研究は（財）若狭湾エネルギー研究センターが福井県の受託研究として実施した。

4.4.8. 機能性酸化物粉末の分光分析

Spectrometric Analysis of Powdered Oxide Materials

西尾 繁^{*1}、江場 宏美^{*2}

Shigeru NISHIO and Hiromi EBA

短いスパンでの繰り返し測定は、我々が実験現場でよく経験する作業の一つである。測定装置が RS232C、GP-IB といった通信用ポートを備え、なおかつコマンドが公開されていれば、外部 PC を利用してこのような煩わしい作業から比較的簡単に逃れることが出来る。しかし、外部からの操作を受け入れない測定機器は多いため、測定スタートなどの単純なキー操作だけのために、測定者が装置の前から長時間離れられないケースは多い。

そこで今回、通常外部からの操作を受け入れない科学機器を外部から操作するインターフェースを製作した。さらにこれを利用して、指定した雰囲気、タイミングで蛍光スペクトルを自動測定するシステムを構築した。

機器操作インターフェースのブロックダイアグラムは図1の通りである。キーエンコーダを外部 PC の I/O ポート出力で操作する、つまり外部 PC がユーザーのキー操作を模擬する仕組みとなっている。キーエンコーダ-I/O ポート間はフォトリレーを用いて電氣的に絶縁した。また、制御用プログラムは LabVIEW で作成した。

このインターフェースを外部制御を受け付けられない蛍光分光器（日立製 F4500）に適用し、さらに PC 制御の雰囲気・流量制御システムを組み合わせることによって、任意の雰囲気、タイミングで蛍光スペクトルを無人測定するシステムを実現することが出来た（図2）。このシステムは、例えば、蛍光材料の長時間耐久性試験などに有用である。



図1 機器操作インターフェースのブロックダイアグラム



図2 雰囲気制御下蛍光スペクトル無人測定システム全景

^{*1} 研究開発部 エネルギー開発グループ

^{*2} 東京都市大学

4.4.9. 廃熱を電気に変える熱電材料の局所構造観察と高性能化

Thermoelectric Properties and Crystalline Structure of AgSbTe₂ Compounds黒崎健^{*1}、笹瀬雅人^{*2}

Ken KUROSAKI and Masato SASASE

近年高い熱電特性を示しうる物質として注目されている AgSbTe₂ について、以下の二つの研究を実施した。

①AgSbTe₂ 単相試料を作製し、電気抵抗率、ゼーベック係数、熱伝導率といった熱電特性を測定し、無次元性能指数 ZT を評価した。②AgSbTe₂ の局所構造を高分解能 TEM により観察した。

その結果、AgSbTe₂ は非常に低い熱伝導率を示し、またそれゆえ高い無次元性能指数 ZT を示すことが確認された。ZT の値は高温域で、実用化の目安である 1 に達した。しかしながら、熱電特性測定後の試料の分析により、測定中に AgSbTe₂ の一部が Sb₂Te₃ と Ag₂Te に分解することが明らかとなった。実用化を目指すためには、AgSbTe₂ の高温安定性を高める必要があることが明らかとなった。

高分解能分析電子顕微鏡 (TEM) を用いて、タリウムを含まないテルル化合物のうち、極端に低い熱伝導率を示す AgSbTe₂ について構造評価を行った。その結果、本手法で作成した AgSbTe₂ 焼結体は、欠陥及び格子歪みのない結晶性の良好な材料であることがわかった。さらに元素の二次元分布はほぼ均一で、元素のゆらぎはほとんど観察されなかった。また、AgSbTe₂ 切片において有効な試料作製方法は、粉碎法であることが FIB 加工法と比較することで明らかとなった。

今後は、AgSbTe₂ をより高性能化するため、AgSbTe₂ の高温安定性を高めるとともに、さらに熱電特性を向上させることを目的として、AgSbTe₂ に PbTe や GeTe を添加した系で同様の研究を実施することを予定している。

^{*1} 大阪大学大学院工学研究科、^{*2} 研究開発部 エネルギー開発グループ
本研究は、大阪大学との公募型共同研究で実施した研究の一部である。

4.4.10. イオンビーム手法を用いて室温形成されたナノ材料の精密構造解析

Detailed TEM analysis of ion-induced carbon nanofibers grown at room temperature

^{*1} 種村真幸、^{*2} 笹瀬雅人

Masaki TANEMURA and Masato SASASE

通常ナノ材料は気相から高温で合成されるが、幅広い応用には、極力低温、理想的には室温での合成手法の確立が急務である。本研究では、独自のイオンビーム手法によって室温形成された 1 次元ナノカーボン材料であるカーボンナノファイバー(CNF)について、純 CNF および金属添加 CNF の超高分解能透過電子顕微鏡 (TEM) による精密結晶構造解析を行った。具体的には、ピエゾ駆動のナノプローブを有する特殊 TEM 試料ホルダーを用い、(1) ナノプローブによる試料安定化固定による超高分解能観察、および、(2) ナノプローブを電極として用いることで、CNF の電流-電圧特性の解析、CNF への通電加熱による結晶構造変化に関する研究を行った。その結果以下の点が明らかとなった。

- 1) CNF は尖鋭な先端、高いアスペクト比という特質を有している。この特性を活かし、TEM 内でナノプローブ CNF 間への電圧の印加により、金属添加の有無によらず、単一 CNF からの電界電子放射が可能であることが明らかにされた。電界電子放射は、30 分以上にわたり安定に継続した。
- 2) 電界電子放射前の純 CNF の結晶構造はアモルファス様の微結晶であり、電界電子放射による通電により、数層からなるカーボンオニオンが連結した結晶構造へと劇的に変化した。更に電流量を増加させることで連結オニオンの融合が進むと期待され、今後継続的に実験を行う予定である。
- 3) 電界電子放射前の金属 (例えば Fe) 添加 CNF は、Fe 微粒子がアモルファス様のカーボン中に高分散した結晶構造であった。電子放射によって、Fe 微粒子の移動・融合、および CNT 化の初期過程を思わせる構造変化が認められた。今後は、静的 TEM 観察に加えて、結晶構造変化のビデオによる動的観察も行う予定である。

これらの研究を通じて、CNF のカーボンナノチューブ(CNT)化、結晶構造制御、螺旋度制御などへと展開をはかることで、新材料創成の新たな扉を開くものと期待される。

^{*1} 名古屋工業大学大学院工学研究科、^{*2} 研究開発部 エネルギー開発グループ
本研究は、名古屋工業大学との公募型共同研究で実施した研究の一部である。

4.4.11.高分子・化学系アクチュエータの複合電極材創製と作動特性に関するイオンビーム照射効果

Effects of ion beam irradiation on the Fabrication and Performance of the Composite Electrodes
for Chemical Actuators庄司英一^{*1}、畑下昌範^{*2}

Eiichi SHOJI and Masanori HATASHITA

高分子膜にイオン照射することにより、特に、膜表面の化学構造が変化し、結果、膜表面の親水性や疎水性のバランスの変化や、膜の荒さなどモルフォロジーの変化が期待出来る。こうした変化による『改質』効果から、膜の物性や無電解メッキ性にどのように影響するかについて検討し、以下のような新知見が得られた:

(1)ビーム照射条件と高分子膜への影響

タンデム加速器やイオン注入装置により高分子電解質膜にイオンを照射し、表面のモルフォロジー変化を高分解能走査型電子顕微鏡、化学構造の変化をX線光電子分光スペクトル測定やフーリエ変換赤外分光スペクトル測定から調べた。イオン照射を行うための治具を独自に設計、これを用いたイオン照射実験から、膜のモルフォロジーや化学構造変化が変化する知見を整理した。飛程の深さとイオン照射量のバランスについて知見を得た。イオン注入による照射で反応に必要なイオン量について知見を得た。

(2)ビーム照射による膜の力学強度への影響

膜の力学強度の影響として引っ張り試験について調べた。イオン照射量が増加するにつれて降伏点に変化する知見を得た。膜の伸縮性の力学的な強度変化について新しい知見が得られた。

(3)ビーム照射によるメッキ性への影響

ビーム照射により表面層のモルフォロジー変化と化学構造変化が起こる知見を整理し、無電解メッキ性との関連を整理した。ビーム照射によるメッキ性の影響について新知見が得られた。

^{*1} 福井大・院工・知能システム工学専攻、^{*2} 研究開発部 生物資源グループ

4.4.12.高分子薄膜アクチュエータの創製

Development of the Polymer-Thin-Film Actuators

庄司英一^{*1}、畑下昌範^{*2}

Eiichi SHOJI and Masanori HATASHITA

化学系アクチュエータは数ボルト程度の低電圧駆動で大きな屈曲運動を発生し、自重の数十～千倍の物を動かすことができる駆動素子である。^{1,2)} また、素材自身が動力源であり、やわらかく成型が容易であること、軽量であることを生かして、必要とされる運動をさせるための素子構造を自在にデザインすることができる。このような駆動素子は、可動部分を持つ精密機器や生体を取り扱う福祉機器などへの利用が見込まれている。^{1,2)} 化学系アクチュエータにはイオン性高分子膜型、導電性高分子膜型、誘電エラストマー等いくつかの種類が存在しているが、中でもイオン性高分子膜を用いたアクチュエータはもっとも実用化に近いものと考えられている。従来、このイオン性高分子膜にはパーフルオロスルホン酸ポリマーが広く用いられてきた。その一方で、それ以外のイオン性高分子膜に関する検討はほとんど行われてこなかった。

本研究では、従来検討があまり行われてこなかった切り口として、高分子の分子構造がどのようにアクチュエータの運動性能に影響を与えるかの系統的な検討である。従来の問題を解決する新しい複合電極材からなるアクチュエータの創製と電気化学的制御への系統的な基礎と応用に関する総合研究の一つとして進めている。今回はイオン性高分子膜として高い熱安定性、機械的強度、化学的性質が期待される高分子に着目し、これら高分子の合成を実施した。合成された高分子を用いてイオン性高分子膜アクチュエータを作製し、それらの運動性能について現在評価中である。

参考文献

- 1) E. Shoji, D. Hirayama : Polym. Adv. Technol., **18**, 346 (2007)
- 2) E. Shoji, D. Hirayama et al. : Polym. Adv. Technol., **17**, 53 (2006)

^{*1} 福井大・院工・知能システム工学専攻、^{*2} 研究開発部 生物資源グループ

4.4.13. 加速器照射による中性子照射スエリング予測研究

Research on Swelling Behavior of Ion Irradiation for Fuel Cladding in Fast Reactor

笹瀬雅人*

Masato SASASE

本研究は、炉心構造材の実用化段階の FBR を想定した照射環境下(高温・高照射量)でのスエリング特性評価を目的としたものである。照射温度:700 °C (あるいは、スエリングピーク温度にて)、損傷量: 250 dpa を目標とし、高エネルギーイオンによる照射と電子顕微鏡観察等を通じて、実用化段階(700 °C, 250 dpa)で生ずる FBR 用炉心候補材のスエリング挙動の見通しを、H18～H21 年の研究期間で実施した。

H21年度は、10 MeV炭素イオン及び3 MeVヘリウムイオンを連続的に照射したPNC316, PNC1535, 9Cr-ODS 鋼, 12Cr-ODS鋼, 再結晶-ODS鋼の照射挙動を透過型電子顕微鏡により評価した。照射温度を一定(873 K)とし、損傷量を150, 200, 250dpaと変化して、5つの照射試料のスエリング挙動を調べた。

その結果、PNC1535, 9Cr-ODS鋼において、250 dpaの高損傷領域まで10%以下の低スエリング率に抑えることができ、耐スエリング特性に優れた材料であることが証明された。一方、PNC316, 12Cr-ODS鋼, 再結晶-ODS鋼については、200 dpaの照射損傷量までは10 %以下のスエリング率で抑えられているが、高損傷量250 dpaになると20 %以上の高いスエリング率を示した。また、ステンレス鋼の組成、結晶中転移密度について、高分解能透過型電子顕微鏡によるナノ組織の動的観察からスエリング特性について系統的な評価・検討も合わせて行った。無転位試料である再結晶ODS鋼のスエリング挙動との比較から、材料中の転位がスエリング率を低下させていることが、定性的ではあるが明らかにすることができた。

*1研究開発部 エネルギー開発グループ 本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが日本原子力研究開発機構の受託研究として実施した。

4.4.14. 半導体鉄シリサイド薄膜創製研究

Formation of Atomically Flat β -FeSi₂/Si(100) Interface Using Ion Beam Techniques

笹瀬雅人

Masato SASASE

本研究は、格子整合条件の制約を大幅に緩和する方法として、イオンビームにより改質した基板表面を介した成長方法を提案し、環境半導体鉄シリサイド薄膜等の作製を通して、成膜におけるイオンビーム技術とその照射効果の有効性について、透過型電子顕微鏡による微細構造観察を基に検討を行った。そして、イオンビームが作り出す「柔らかい(長周期的な結晶構造を保ちつつ一定の割合で欠陥や転位を含む)層」が、ヘテロ界面創製に非常に有効であることを、研究期間 3 年にて示すことを目的とする。

H20 年度は、研究開発したイオンビームスパッタ蒸着(IBSD)装置を用いることで、シリコン基板上に急峻なヘテロ界面を持つ鉄シリサイド薄膜を再現性良く成長する技術開発が実現できた。しかし、良質な薄膜の成長を促す条件がまだ明らかになっていない。

そこでH21年度では、 β -FeSi₂成膜において微細構造に与える Si 基板のスパッタ表面処理条件の影響を明らかにするために、異なるスパッタ条件で処理、作製した β -FeSi₂薄膜の微細構造及び界面について断面 TEM 観察により検討した。1 keV, Ne⁺で処理した場合は界面が急峻で高配向膜の生成が確認された。しかしながら照射エネルギーを増加させると欠陥生成量が増加することから表面平坦性が急激に悪くなり、多数の結晶粒が島状に生成し連続膜は得られなかった。イオンビームスパッタ蒸着(IBSD)法により成膜した場合 1 keV, Ne⁺、照射量 3×10^{16} ions/cm² が最適な処理条件であることが分かった。この条件において結晶性及び表面構造を損なわない適度な欠陥層が生成し、円滑な相互拡散を促されたことにより、基板との急峻な界面を持つ結晶性の良好な薄膜が得られたと考えられる。

最終年度である H22 年度は、1) 原子オーダーに制御された界面構造の創製、2) 近赤外発光の確認、3) 急峻なヘテロ界面の成長メカニズムについて定量的な評価・検討を軸に研究を進める予定である。

*研究開発部 エネルギー開発グループ 本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが関西電力、日本原子力発電、北陸電力の 3 社の受託研究として実施した。

4.4.15. 透過型電子顕微鏡を利用した共同研究(企業編)
The Joint Research for Transmission Electron Microscopy (TEM)
笹瀬雅人*
Masato SASASE

要約

若狭湾エネルギー研究センターに設置された高分解能透過型電子顕微鏡を用いた、地域企業との共同研究成果を報告する。

I. ケラチン繊維の微細構造解析ならびに成分解析

ヒトの毛髪はケラチン繊維で構成されており、大きく分けて、ミクロフィブリル、それが束となったマクロフィブリル、それらを包むように最外層に鱗状のキューティクルが5～6層重なっており、断面から観るとほぼ真円状である。そのヒトの毛髪は身近な生体由来繊維であるにもかかわらず、その微細組織は未だ明らかにされていないのが現状である。そのため毛髪へのカラーリング(毛染め)施術やパーマメントウェーブ施術に用いられる酸化還元反応を利用した薬剤処理による変化についても毛髪を構成している各組織での化学変化・組織変化までは議論されておらず、今後薬剤の最適化を図る上で検討が必要である。

本研究では、ミクロトーム法による毛髪の電顕試料作製法を確立し、その後透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて毛髪断面の微細構造を詳細に観察することによって、毛髪の微細構造及び薬剤処理による構造変化の解明を目的とする。

H21年度の毛髪断面外側の観察では、キューティクルの層構造およびマクロフィブリルとその間隙に存在するCMCが観察され、さらには、薬剤処理による構造的な欠落、すなわち、ダメージが観察された。その結果、TEM観察は薬剤処理ダメージの観察に適していることが分かった。また、カラーやパーマ処理のダメージを緩和する処理剤を使用した毛髪では、処理剤のダメージ緩和効果をTEM観察により観察することができた。今後、各薬剤処理における各組織の微細構造変化の観察をさらに検討していく予定である。

本研究は、日華化学株式会社と共同で実施した研究の一部である。

II 電池用材料の物性及び電気化学的評価・解析

従来電池用材料の開発は、粒径や形状・結晶構造など素材としての物理的な特徴と、実用としての電気化学的評価結果を比較することで行ってきた。一方、近年電池材料において、その素材自身の電子状態や化学結合状態が性能に直接影響することが明らかとなり、電子状態を制御することで性能向上を図っている。本研究では、この相関関係を評価・解析することによって共同で電池材料の分析・評価技術の確立し、高性能の電池材料開発を目的とした。

3元素と呼ばれるニッケル・コバルト・マンガンから構成されるリチウムイオン電池用素材についてTEMを使用し電子状態・結晶状態分析を行なった。H21年度の検討において、3元素と呼ばれるニッケル・コバルト・マンガンから構成されるリチウムイオン電池用素材について粒子内の結晶サイズ(粒界)の大きさやその結晶方位に関する情報の取得を検討した。

その結果、粒子をイオンビームにより切断し、平滑な断面出しを行ない、この断面に対しFE-SEMを用いた反射電子観察を行なったところ、粒界が輝度の異なる数100nm領域として観察することができた。しかし、本年度はこの解析を充放電後の正極材料に適用するまでには至らなかった。

本研究は、(株)田中化学研究所と共同で実施した研究の一部である。

III. アルミナゾルの粒径・形状制御技術の研究

アルミニウムアルコキシドを原料とするゾルゲル法によって得られるアルミナゾルは、透明性が高く、蒸留精製したアルミニウムイソプロピレートが原料であることから化学的純度が高いという特徴がある。これまで粒子形状制御への応用を目的として、種々の合成条件の検討を行ってきた。その結果、粒状粒子だけでなく、排気ガス浄化用触媒担体用のバインダーとして評価を得ている柱状粒子を選択的、且つ高濃度で合成することが可能になった。

H21年度は、柱状粒子を有するアルミナゾル高濃度化のため、TEMを用いた粒子形状観察により製法の妥当性を確認しつつ高濃度化製造方法の検討を行い、以下の結果が得られた。

*研究開発部 エネルギー開発グループ

- ① 現行製法のままでは濃度アップが困難であるが、熟成工程により粒子の結晶成長を促すことで濃度アップが可能になった。TEM での粒経・形状観察結果から、濃度アップしたゾルは、現行製法品と同等の柱状粒子であることが確認できた。
- ② さらに安定剤の量を最適化することで、柱状粒子を有するゾルの粒子形状を維持しつつ、これまでの 2.0 倍まで濃度アップすることに成功した。

排気ガス浄化用触媒担体の用バインダーとして非常に高い評価を得ている柱状粒子を有するアルミナゾルの高濃度化を実現できたことにより、排気ガス浄化触媒バインダー用途としての拡販が望める。

本研究は、(株)川研ファインケミカルと共同で実施した研究の一部である。

IV. 透過型電子顕微鏡(TEM)による繊維内部構造の観察技術確立

近年、カーボンナノチューブ(CNT)等の機能性粒子を樹脂中に複合化させた材料を繊維化し、新規の機能性繊維の研究開発が行われている。研究開発を円滑に行うためには、複合繊維中の機能性粒子の分散状態や樹脂-粒子界面の状態を詳細に観察する必要性が増している。一方、分散状態や界面状態の微細構造を解析するためにはナノレベルでの観察技術が必要で、主として透過型電子顕微鏡 (TEM)を用いる必要がある。さらに、TEM を含む電子顕微鏡観察には目的にあった試料作製技術、観察技術と解析技術が必要であり、特に試料作製には多くのノウハウが存在する。

本共同研究では、TEM 試料作製法および前処理技術の検討、条件の最適化、そして樹脂材料(繊維材料)における TEM 観察・解析技術の検討を行った。

H21 年度は、CNT 複合繊維の TEM 観察用超薄膜切片作製技術を習得し、TEM(加速電圧 300kV)を用い、繊維軸方向および繊維断面方向における延伸(一軸配向)の有無による CNT の分散状態観察を実施した。その結果、以下の点が明らかとなった。

- 1) 切片作成時に厚みムラが発生。CNT の存在が原因と推測。
- 2) 複合樹脂観察の為に薄膜は、作製装置設定厚み 70~150 nm を評価した結果、70 nm にて最も明瞭な像が得られた。より明確な観察が可能な厚みの検討を更に進める。
- 3) CNT 複合樹脂の薄膜切片は、厚み 70 nm 程度でも黒色を示す為、従来の干渉色による実際の切片厚み測定が不可能であった。測定方法の検討も、今後重ねる。
- 4) 繊維試料の観察により、CNT の配列を確認できた。また、STEM モードよりも、TEM モードの方が、明瞭な CNT 像が得られることが判った。

本共同研究で得られた成果は、弊社の導電糸開発において、導電性発現機構解明の一助となる。現在は基礎段階であり、今後の応用へ向け、技術開発を進める計画である。

本共同研究は、KB セーレン株式会社と実施した研究の一部である。

4.4.16. 透過型電子顕微鏡を利用した共同研究（大学編） The Joint Research for Transmission Electron Microscopy (TEM)

笹瀬雅人*

Masato SASASE

要約

若狭湾エネルギー研究センターに設置された高分解能透過型電子顕微鏡を用いた、大学との共同研究成果を報告する。

I. 半導体 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Si}_2$ の結晶成長と薄膜太陽電池への応用研究

太陽電池は様々なところで使われているが、さらに一般家庭に普及させるためには、Si よりも高効率で安価な材料で開発することが必要である。そのためには原料である Si の使用量を抑えることがポイントになる。資源が豊富な元素からなり、光吸収係数が Si よりも 100 倍以上大きなアルカリ土類シリサイド半導体 BaSi_2 が非常に有用な材料である。一方、 BaSi_2 は禁制帯幅が約 1.2 eV と太陽電池に使うには少し小さいのがネックであるが、他のアルカリ土類元素を混ぜて混晶化することで、禁制帯幅を 1.4 - 1.5 eV に近づけられれば、安価で高効率の太陽電池が実現できる。

本研究では Molecular Beam Epitaxy 法(MBE 法)により禁制帯幅 E_g を制御した $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Si}_2$ 薄膜を Si(111)基板または SiO_2 上に形成した<111>配向 Si 薄膜上に作製し、Si 太陽電池よりも安価で高効率の太陽電池開発の基礎研究を行った。

BaSi_2 は Si(111)面にエピタキシャル成長可能であるが、 BaSi_2/Si ヘテロ界面には電子親和力の差に起因する大きなバンド不連続があるため、 BaSi_2/Si ヘテロ界面を介して電流を取り出すことが難しいという問題があった。このため、これまで BaSi_2 の分光感度測定は、ヘテロ界面を横切る電流では計測できておらず、 BaSi_2 膜の面内方向に流れる電流を計測して測定してきた。しかし、これでは太陽電池にならない。この問題を、ヘテロ界面に $n^+-\text{BaSi}_2/p^+-\text{Si}$ トンネル接合を形成することで解決し、外部量子効率 10 %以上を目標に実験を行った。

$p^+-\text{Si}(111)$ 基板上に $n^+-\text{BaSi}_2$ 膜を MBE 法で形成するには、界面に種結晶となるアンドープ BaSi_2 が必要である。しかし、アンドープ BaSi_2 が厚い場合には、電流が流れ難いという問題が生じる。そこで、アンドープ BaSi_2 の膜厚を変えて、 $n^+-\text{BaSi}_2/\text{アンドープ BaSi}_2/p^+-\text{Si}$ 構造を形成したところ、アンドープ BaSi_2 の厚さが 1 nm の時、電流電圧特性の整流性が消失し、且つ、0.1 V 印加時のトンネル抵抗が $0.1 \Omega\text{cm}^2$ と、III-V 族化合物半導体で得られるトンネル接合と遜色ない値を達成した。また、このトンネル接合上に厚さ $0.3 \mu\text{m}$ の BaSi_2 膜をエピタキシャル成長し、棒状 Al 電極を 1.5 mm 間隔で表面に、裏面には Al 電極を蒸着した。この試料の分光感度特性のバイアス電圧依存性を室温で評価した。その結果、 BaSi_2 の禁制帯幅に近い約 1.25 eV 付近から明瞭に立ち上がる特性が得られ、ヘテロ界面を介して電流の取り出しに成功した。バイアス電圧の増加とともに分光感度も向上し、2.3 eV の光子に対し、3 V で外部量子効率は 20 %に達した。この値は、シリサイド半導体では最大の値である。

本研究は、筑波大学と共同で実施した研究の一部である。

II. 透過型電子顕微鏡を用いた金属ナノ結晶の構造安定性に関する研究

結晶粒径が 10 nm オーダーの金属ナノ結晶は、粒径が極めて小さいことなどから生じる特異な性質(例えば、水素ガスを多量に吸収する、表面が極めて活性であるなど)を示すため、触媒、センサー、磁気記録等への応用研究が数多く行われている。一般に、金属ナノ結晶は粒成長し易く熱的に不安定とされ、常温以上での実用化にはネックになることが指摘されている。一方、我々のガスデポジション法で作製した金属ナノ結晶では良好な熱的安定性を示す場合があることが分かった。このような熱的安定性を示すナノ結晶の特徴として、(111)配向をもつ柱状晶であることや結晶粒径が均一なことに加え He バブルの存在が確認されているが、熱的安定性との関連は不明である。ガスデポジション法で作製した金属ナノ結晶の安定化機構を明らかにすることは、ナノ結晶の物性学のおよび実用化において極めて重要である。

ガスデポジション法で作製した金ナノ結晶では、作製後の平均粒径が $\sim 10 \text{ nm}$ になると熱的安定性が著しく

*研究開発部 エネルギー開発グループ

向上する。粒径が小さいことにより He ガスの吸着量が増大し、結晶粒の熱的安定性が向上すると考えられる。そこで、本研究では、平均粒径 10～25 nm の金ナノ結晶を作製し、電顕観察により He バブルの分布状況を調べ、熱的安定性との関連を検討した。また金ナノ結晶中の He バブルの熱的安定性を調べるために、He の昇温脱離試験を行った。

その結果、平均粒径が～10 nm の熱的に安定な試料では、大きさ～5 nm の He バブルが結晶粒界付近に多く存在する傾向が透過電顕観察により確認された。300 °C、1 hr 真空焼鈍後の試料においても、大きさが変化していない He バブルが粒界付近に存在した。一方、熱的安定性の劣る平均粒径が～25 nm の試料では、粒界内外を問わず均一に He バブルが存在していた。したがって、粒界付近に存在する He バブルが結晶粒の安定性に関係することが考えられる。また、昇温脱離試験では、金の融点付近(1050 °C)における He 放出が確認されたのみで、He バブルは極めて安定に存在することが示された。金ナノ結晶中の He バブルの分布が粒径に依存することが分かったので、次年度においては、平均粒径を制御した金ナノ結晶の昇温脱離試験を実施予定である。

本研究は、茨城大学と共同で実施した研究の一部である。

III. 摩擦を利用したナノ結晶微細構造表面膜の創製と評価

摩擦の影響を受けた材料表面は、材料表面突起同士の凝着と相手材への移着、塑性ひずみエネルギーの蓄積、真実接触点での熱の発生により、バルク（母材）と異なる特異な物性を持つ。即ち、摩擦層は、ナノ結晶化、非晶質化により微細構造を持ち、高強度で耐摩耗性・耐耐食性に優れた高機能な膜であると期待される。

H21 年度は、ディスク材料として炭素鋼 S45C、ピン材料として純 Cu を用いて真空中(9.9×10^{-4} Pa 以下)でピンオンディスク摩擦試験を行い、ディスク表面に生成した Cu 移着膜を詳細に観察した。具体的には、アセトンで超音波洗浄した摩擦試験片を用いて、摩擦速度を 0.02～0.5 m/s(ディスク回転速度 8～210 rpm)、荷重を 4.9 N～49.1 N、回転回数を 1 rev～5000 rev の範囲で変化させて Cu 移着膜生成試験を行なった。試験後の摩擦面はマイクロスコープにより観察し、ディスクに生成した Cu 移着膜断面は光学顕微鏡および TEM(透過型電子顕微鏡)による観察を行った。さらに、Cu 移着膜を生成したディスク摩擦試験片と S45C ピンを用いて耐摩耗試験を行なった。

その結果、ディスクに生成した Cu 移着膜の摩擦方向に垂直な断面の STEM 観察において、Cu 移着部では粒径が 15～180 nm のナノ結晶化した微細組織が認められた。また、S45C 側の界面付近では、層間距離が 30～50 nm の微細なラメラ組織が観察された。さらに EDS 元素マッピングにより、50～100 nm のサイズの Fe 粒子が Cu 移着膜の中に混入しているのがわかった。ディスク回転回数を変えた摩擦面の観察結果から、S45C ディスクの微小な Fe 粒子がピンに移着し、その Fe 粒子を含んだ Cu がディスクに移着して、Cu 移着膜が生成したと考えられる。また、Cu ピンから直接ディスクに移着して、Cu 移着膜が生成する場合もある。生成した Cu 移着膜の耐摩耗試験では、Cu 移着膜の生成していない旋盤加工のままの S45C ディスクと比べて長くマイルド摩耗が続き、Cu 移着膜による耐摩耗性向上の効果がみられた。また、Cu 移着膜の生成後 Ag 移着膜を生成させると、さらに良好な摩耗特性が得られた。

本研究は、福井工業高等専門学校と共同で実施した研究の一部である。

IV. 金属ガラスへのイオン注入法の研究

イオン注入は、材料を構成する原子との衝突(原子核との弾性衝突及び電子励起)によって、材料表面近傍にのみエネルギーを与えかつ異種の元素を埋め込むことができる点が特徴である。すなわち、表面構造変化を制御するとともに、非熱平衡状態で添加された元素の化学的効果も期待されることから、材料形成後の表面改質プロセスとして興味深い方法である。

金属ガラスは、強度、耐食性、磁性などにおいて優れた特性を示す非晶質金属であり、この要因は、金属ガラス中の特殊な局所構造の存在だと考えられる。非晶質金属がすぐれた軟磁気特性を示すことが見出されてから、磁性材料として注目され、テープレコーダーのヘッドやトランスの磁芯材料として実用化されている。

本研究では、イオン注入を任意に制御可能な局所構造生成法として積極的に応用することで、金属ガラス合金へのイオンによる構造・組成変化や、相安定性に与える影響を調べ、元素添加、原子衝突効果を明らかにすることを目的とした。

H21 年度は、薄膜非晶質合金を作成し、イオン注入による ZrNiAlCu 材料の原子衝突効果による結晶構造変化および、機械的性質におよぼす影響について検討を行った。ZrNiAlCu 金属ガラス試料に対し、Mg, P イオン注入を行い、透過電子顕微鏡観察により局所構造変化を観察するとともに、機械的特性変化についてナノイン

デンドリターを用いた微小押し込み試験を行い、ヤング率変化を評価した。調べた。とくに析出物の数、大きさと核的・電子的エネルギー付与との関係、さらにナノインデントを用いた微小押し込み試験を行い、ヤング率、析出物の体積、付与エネルギーなどの定量評価を行った。

その結果、200-300 keV の Mg および P イオン照射によって非晶質相のなかに 5~20 nm 直径のナノ結晶相がランダムに析出する。析出相は入射イオン種およびエネルギーによらず非平衡相 fcc-Zr₂Cu と同定され、他の結晶相は見られなかったことから、原子衝突による欠陥形成が非平衡相の安定化をもたらす一方、添加元素の効果はあらわれていないと考えられる。ナノインデントを用いた微小押し込み試験で得られた荷重-変位曲線からヤング率を評価した結果、未照射材で約 80 GPa であったヤング率はイオンの照射量に比例して増加し、約 4×10^{16} /cm² の照射でおよそ 120 GPa に達した。電子顕微鏡観察による析出物の数密度と体積を評価したところ、ヤング率はイオン照射誘起析出物の体積分率に比例し、体積分率約 0.1 % の析出物によりヤング率は約 50 % 増大した。

本研究は、東北大学・金属材料研究所と共同で実施した研究の一部である。

V. リアルナノ・サブナノ・原子スケール分析を目指した光電子分光および光吸収分光の確立

ナノ粒子から構成される新規機能性材料の創製が注目されているが、その分析法は、従来通り透過型電子顕微鏡や原子間力顕微鏡等の直接観察が主流である。これらの方法は、研究室レベルで非常に有用な分析法であるが、試料作製の困難さや、観察領域の制限があるため、すべての研究者に対して有用な分析法ではない。本研究では、以上の問題点を克服すべく、光電子分光および光吸収の分光学的手法により、簡便、迅速かつ正確に原子レベルのクラスターからナノ粒子に至る広範囲のサイズ領域のキャラクタリゼーション法を開発・確立することを最終目標にして、その基礎研究を行った。さらに、基板上のナノ構造体のみならず、マトリックスに埋め込まれたナノ・サブナノ粒子のサイズや存在状態分析など、その方法論を確立し、それらの三次元状態分析の可能性を探る。

前年度に粒径 5~9 nm の CuO ナノ粒子を作製し、その光電子分光スペクトルを計測した。H21年度では、粒径 5 nm 以下の CuO ナノ粒子に対して、Cu 内殻準位スペクトルおよび内殻準位メインピーク/サテライトピーク強度比の粒径依存性を調査した。それにより、X 線光電子分光による銅酸化物ナノ粒子のキャラクタリゼーションの有用性を検討した。

基板上に銅酸化物ナノ粒子を作製し、光吸収分光、X 線回折法、X 線光電子分光およびを用いて、そのキャラクタリゼーションを行った。CuO ナノ粒子の X 線光電子分光の過程で、スペクトル計測中にサテライトピーク強度が減少することを見出した。これは CuO が還元されたためである。X 線照射に伴う CuO の還元を詳細に調べた結果、CuO ナノ粒子の表面 1~2 nm が還元されて CuO_x (x<1) となるが、ナノ粒子の内部は CuO であることが分かった。つまり、CuO_x/CuO コア・シェル構造のナノ粒子が生成することが分かった。さらに、X 線照射による CuO ナノ粒子の還元速度は、バルク CuO のそれに比べて、きわめて小さいことが示された。現在、CuO 還元機構の解明するために、CuO_x/CuO コア・シェル構造の高分解能透過型電子顕微鏡観察を行っている。

本研究は、京都工芸繊維大学と共同で実施した研究の一部である。

VI. 不純物添加酸化チタン薄膜のナノ構造解明による高性能光機能材料の開発

酸化チタンは人体に無害で環境負荷が小さいため、これからの光機能材料として有望視されている。酸化チタンの光機能の代表的なものは有害物質などを分解する光触媒作用であるが、電気的には次世代太陽電池やセンサー材料としての期待も大きい。しかしながら、酸化チタンの光反応領域は紫外光側にあるため、可視光側での特性を改善するため種々の不純物添加が行われている。本研究では酸化チタンにイオン注入およびスパッタリング法により金属等の不純物添加を行い、ナノ構造と光機能特性との関係を明らかにした。その結果から、ナノ構造を把握することで高性能酸化チタンの開発が進むものと考えられる。

H21 年度は、1) 基礎的研究として、反応性スパッタリング法による異なる結晶構造を持つ酸化チタン薄膜の光電導性と光触媒効果について、2) 基礎データを踏まえ酸化チタン薄膜の可視光化において有効である N 添加効果が電気的特性に与える影響について検討した。

反応性スパッタリング法により作製した酸化チタン薄膜の基板加熱温度と酸素流量変化における結晶構造とそれに対する光電導性と光触媒効果について調べ、基板加熱または酸素流量変化によって光電導性と光触媒効果が変化することを明らかにした。XRD 測定より、この原因は結晶構造のルチル型とアナターゼ型に大きく依存することが考えられる。そこで、それぞれの構造に対する詳細な調査として、表面形態、電気諸特性(抵抗率、キャリア濃度、ホール移動度)、光学バンドギャップを測定し考察を行い、その結果光電導性と光触媒効果は、共

通の因子によって機能するのではなく、それぞれの条件に最適値を持つことを明らかにした。今後は、透過型電子顕微鏡により詳細な調査を行う予定である。

本研究は、工学院大学と共同で実施した研究の一部である。

VII. パルマ藻類のバイオシリカ細胞構築メカニズムの可視化

海産の不等毛植物門パルマ藻の細胞壁バイオシリカ(生物が形成する二酸化ケイ素)形成制御因子を明らかにすることを最終目的に、細胞におけるバイオシリカの挙動を追跡する。本藻は、バイオシリカを主成分とした複雑かつ規則性のある形状を持つ複数の殻が組み合わさった細胞壁を持つ。超高分解能高分圧分析電子顕微鏡装置(TEM)を用いて細胞中バイオシリカ局在性を可視化することで、細胞壁構築のメカニズムを探り、さらに構築を制御する因子の探索を行い、その因子の材料工学分野への応用の可能性を探った。

H21 年度は、TEM を用いて、パルマ藻中のシリカ分子が追跡・可視化の可能性を検討した。具体的には、パルマ藻細胞を固定・樹脂包埋したものを試料とし、超薄切片を作成し、バイオシリカの主成分である Si と O₂ の細胞内分布検出のための最適条件を、(1)超薄切片の厚さ、(2)超薄切片の染色法を中心に検討した。

その結果、TEM により、パルマ藻の細胞壁を構成しているバイオシリカの検出が可能であることが明らかになった。検出のための条件は、(1)超薄切片の厚さは、90~300 nm の範囲で検討を行った結果、150 nm 前後の厚さが検出に最適であった。(2)染色はウラニル酢酸による軽微なもので十分で、通常の TEM 観察に用いられる鉛との二重染色の必要は無かった。

細胞壁以外には、はっきりとバイオシリカあるいはシリカが検出される細胞内構造を検出することはできなかった。原因として、(a) 検出限界以下の量しか存在しなかった、(b) 用いた細胞が細胞壁を活発に構築している生育ステージではなかった可能性が考えられた。今後(b)の可能性を異なった生育ステージの細胞を用いて検討する必要があると考える。

シリカは半導体・ガラス・セラミックスなどの原料として多用されている。バイオシリカの形成機構に関与する制御因子が明らかになれば、シリカ沈着制御を材料工学分野へ応用する可能性が考えられる。

本研究は、福井県立大学と共同で実施した研究の一部である。

VIII. 透過型電子顕微鏡による生物及び繊維内部構造の観察技術の確立

最近、(株)日華化学や(株)KB セーレンなどの県内企業から、毛髪や細胞等の生物系材料及び繊維や高分子などのソフト系材料の組織観察の要求が非常に増えており、今後、その研究開発結果により県内企業の活性化を促すことが期待される。一方、現有の JEM-3000F では、ソフト系材料の組織観察で期待される低倍率及び軽元素の高コントラスト化が非常に難しく、その要求に応えられる性能を出すことができない。また、我々のグループでは生物やソフト系材料の電顕観察のための試料薄片化技術について、非常に未熟である。

本研究では、福井大学にある低倍率から高倍率まで高いコントラストで良質な組織像が観察できる透過型電子顕微鏡(JEM-2100TM JEOL 製)を用いて、生物やソフト系材料の電顕試料の試料作製技術手法の習得を試みた。

本研究は新規の共同研究であり、まだ発表できる段階にある成果はない。ただし、(株)日華化学及び(株)KB セーレンとの共同研究で必要な電顕試料作製及び観察技術に役立つノウハウが身についている。今後、電顕試料作製及び観察技術を定常的に、再現性良く発揮できる環境及び、ノウハウの習得を行う予定である。

本研究は、福井大学と共同で実施した研究の一部である。

4.4.17. 透過型電子顕微鏡を利用した共同研究（JAEA編） The Joint Research for Transmission Electron Microscopy (TEM)

笹瀬雅人*

Masato SASASE

要約

若狭湾エネルギー研究センターに設置された高分解能透過型電子顕微鏡を用いた、日本原子力研究開発機関(JAEA)との共同研究成果を報告する。

I. イオンビームを用いた新物質創製研究

II. 高エネルギー重イオン照射によるシリサイド半導体中へのナノ金属相作製

鉄シリサイド・ β -FeSi₂の結合はSiよりも強く、優れた耐放射線性を有すると考えられ、放射線環境下で動作する電子デバイスの具現化が待望される。また β -FeSi₂は、Siと鉄(Fe)の化合物は地上に豊富に存在する元素より構成され、かつ人体への毒性も少ないことから、環境低負荷軽減材料として注目されている。さらに β -FeSi₂は半導体的性質を有し、新しい半導体材料としてのみならず、熱電材料や太陽電池、発光体の材料としても注目を集めている。

本研究では、格子整合条件の制約を大幅に緩和する方法として、イオンビームにより改質した基板表面を介した成長方法を提案し、環境半導体鉄シリサイド(β -FeSi₂)薄膜等の作製研究を行う。さらにシリサイドに対し高エネルギー重イオンビームを照射することで、高密度電子励起状態を作り、相転移を引き起こさせ、半導体中にナノオーダーの金属相や絶縁相を作製し、オールシリコン一体型デバイス作製の可能性を探る。

H21年度は、半導体鉄シリサイド薄膜の創製及び物性改質におけるイオン照射効果について、透過型電子顕微鏡(TEM)による観察を中心に検討を行った。イオンビームの照射により、1) 結晶性良好なシリサイド半導体の成膜が可能になった、2) 膜内にナノ領域の改質相を導入した点について報告する。

Si(100)基板上にエピタキシャル成長した β -FeSi₂薄膜界面の明視野像から、1 keV Ne⁺, 3 x 10²⁰ ions/m²にて基板のスパッタ処理を行った後、イオンビームスパッタ蒸着法(IBSD)により作製した。スパッタ処理条件を最適化することにより、基板の結晶性及び表面構造を大きく損なわない程度の欠陥が導入された領域を作り、鉄とシリコンの円滑な相互拡散を促して結晶性の良好なエピタキシャル β -FeSi₂薄膜成長がIBSD法で可能となった。

さらにこの薄膜に対し高エネルギー重イオン照射(320 MeV Au²⁴⁺)により、膜内に円柱状欠陥を生成した。断面TEM像から、生成した円柱状欠陥は、平均直径6 nmのナノ領域で非晶質化していることがわかる。この結果は半導体相中に導電相の形成が実現し得ることを示している。円柱状欠陥の生成挙動は電子励起効果に支配され、エネルギー損失量の調整により円柱径等の制御が可能である。以上の結果から、イオン照射により生じる欠陥が、鉄シリサイド薄膜の創製や改質に有効に働き得ることが分かった。

III. 原子炉燃料模擬物質の照射損傷評価手法の開発

高エネルギー粒子を照射することによって原子力燃料模擬セラミックス中に形成される損傷の損傷度および損傷寸法の定量化、および高照射量領域での複雑な損傷の組織観察を系統的に行うことにより、燃料体の損傷評価法を構築することを目的とする。

酸化物セラミックス(CeO₂)等に、高エネルギー粒子を照射することによって損傷が形成する挙動を電子顕微鏡観察により直接観察する。高照射量領域での損傷評価を行うことで、損傷同士のオーバーラップによる効果を定量化し損傷評価法の構築に役立てる。簡単な物質系での損傷との比較を行うために純シリコン中での照射損傷についても同様の実験を行った。

その結果、燃料模擬物質CeO₂のセラミックス薄膜(厚さ約0.3 μm)に対して、日本原子力研究開発機構東海研究開発センターの20 MVタンデム加速器から供給される高エネルギー重イオン(200 MeV Auイオン)を高照射量レベルの1 x 10¹³ ions/cm²前後の照射量まで照射した。若狭湾エネルギー研究センターにおいて、照射後試料の損傷状態を評価するために必要な試料微細化加工の最適条件を明らかにした。さらに、透過型電子顕微鏡を用いて、照射損傷状態、特に高エネルギーイオン照射時に特有な損傷(イオントラック)を評価した。

*研究開発部 エネルギー開発グループ

4. 5. エネルギー関連研究開発

4.5.1. 水素分離(不純物)装置の基礎試験を含む調査(VI)

Research on Hydrogen Purification System Containing Basic Test (VI)

天田健一^{*1}、長友仁郎^{*2}、小林重忠^{*3}

Kenichi AMADA, Jinro NAGATOMO and Shigetada KOBAYASHI

I. 緒言

高速増殖炉の熱を用いて水素精製が行えるハイブリッド熱化学法(以下、Hy2S 法 図 1)を念頭に、同法で発生することが懸念されている硫化水素等の不純物ガスを対象として、吸着剤を使用して除去分離回収することにより水素を精製する方法(図 2)を調査する目的で、2008 年度までに実施した基礎試験を基に、除去効率の効率化が図れる温度・圧力スイング濃縮法に関する基礎試験と自動化連続運転の可能性を評価する試験を実施した。また、今後の設計研究に資するため Hy2S 法のパイロット規模施設の設計・建設技術に関する情報を調査し整理した。

II. 内容

Hy2S 法に関する基礎試験では、今年度はイオウ系の不純物ガスを効率的に活性炭へ吸着させ、かつ吸着性能が飽和後に速やかに吸着ガスを脱着し再生できる温度・圧力スイング濃縮法に関する適用性を評価するための試験を行った。温度・圧力スイング法とは、不純物吸着時に活性炭の温度を下げ、かつ圧力を高め吸着特性を向上させ、活性炭に吸着されたガスを脱着させる際に温度と圧力を常温・常圧にして短時間に活性炭を再生させる方法である。試験としては、前年度と同様に活性炭を充填した吸着塔に、水素製造施設で作った水素ガスに代り硫化水素又は代用ガスを混合したヘリウムガスを代替ガスとして通気し、出口の不純物濃度の時間的な変化を捉え破過(飽和)曲線を得ることによって吸脱着基礎特性を並びに以下の知見を得た。

(1) 低温二酸化炭素の温度・圧力スイング濃縮回収基礎試験

10ppm の二酸化炭素を不純物として -75°C 、約 1000kPa (gage) で吸着、 -40°C まで昇温、大気圧で減圧脱着させる温度・圧力スイング法では約 24 倍の濃縮性能が確認された。

(2) 硫化水素の温度・圧力スイング濃縮回収基礎試験

5 ppm の硫化水素を用いて -30°C 、約 1000kPa (gage) で吸着、 0°C 、大気圧で脱着させる温度・圧力スイング法では、約 32 倍の濃縮性能が得られた。

(3) 自動化連続運転予備試験

5 ppm の硫化水素を用いて -30°C 、大気圧～約 800 (gage) で吸着、 0°C 、大気圧で脱着させる温度・圧力スイング法では、約 18～28 倍の濃縮性能が得られた。

今回の試験では活性炭充填量が容器・配管の容積に対して少ないので、濃縮効果が小さめに出たと考えられるが、温度・圧力スイング法での連続な吸脱着試験でもおよそ 20 倍程度の濃縮効果が得られたため、同法は十分に実用性があるものと評価される。(図 3)

また、Hy2S 法によるパイロット規模施設の設計・建設技術に関する調査では、比較のため昨年度に技術調査した高温水蒸気電解法(以下、HTSE 法)も加えて整理し、調査結果を以下のようにまとめた。

(1) Hy2S 法及び HTSE 法による水素製造プラントは既存の研究結果等を参考に、もんじゅ規模では約 85000Nm³/hr とし、パイロット規模は 1/10 に設定し 8500Nm³/hr とすることが妥当である。

(2) 原子炉設備と水素設備の規制の違いに関し、互いの規制を満足する原子炉設備と水素設備の離隔距離は、電力水素併産型高温ガス炉(GTHTR300)の IS 法に関する先行研究から、Hy2S で 170m

^{*1} 研究開発部 エネルギー開発グループ ^{*2} エネルギー研究開発拠点化推進組織 ^{*3} 協力研究員
本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが日本原子力開発研究機構の受託研究として実施した。

以下、HTSE 法で 140m 以下になると予想される。

(3) 原子炉と水素製造施設との境界部（インターフェイス）の設計課題として以下が挙げられる。

- ・ 原子炉側への水素、水素製造側へのトリチウムの移行
- ・ 水素製造側異常の原子炉側への影響と原子炉側異常の水素側製造側への影響
- ・ 原子炉側異常の水素側製造側への影響
- ・ 水素製造プロセス流体と原子炉冷却系の隔離

参考文献 1) 中桐利男「高速増殖炉に適用可能な水素製造技術の開発-ハイブリッド熱化学法の開発-」日本原子力学会誌. Vol.50, No.10(2008)

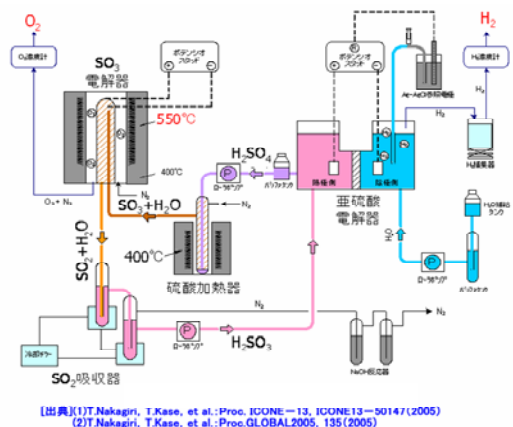


図1. ハイブリッド熱化学法 の概念

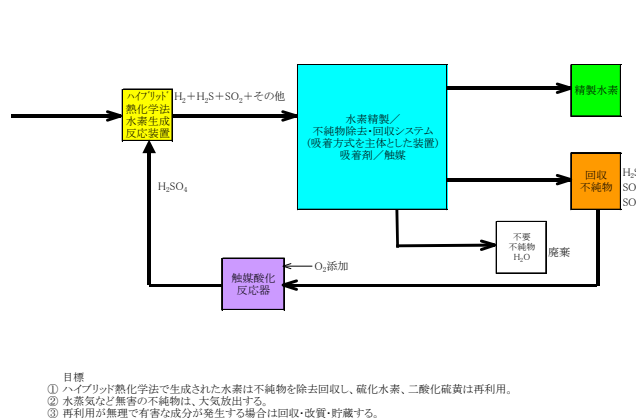


図2. ハイブリッド熱化学法に適用する不純物ガス除去法 の概念

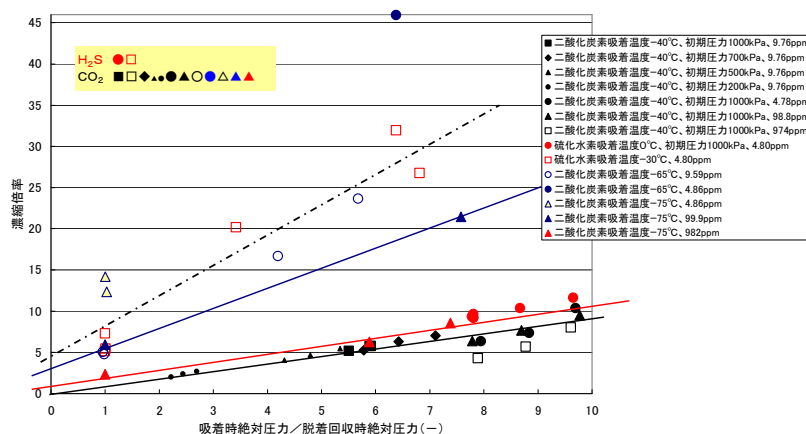


図3. 温度・圧力スイングによる活性炭塔における不純物ガスの濃縮試験結果

4.5.2. 気泡駆動型循環式ヒートパイプによる熱輸送

Heat Transport of Bubble-Actuated Circulating Heat Pipe (BACH)

鳥取章二^{*1}、永井二郎^{*2}、大西東洋司^{*1}、池田倫史^{*3}、森秀幸^{*4}

Shouji TOTTORI, Niro NAGAI, Toyoji ONISHI, Tomofumi IKEDA and Hideyuki MORI

要約

気泡駆動型循環式ヒートパイプについて熱輸送の特性を把握するための実験を行い、また実証試験を実施している。

I. 緒言

無動力で熱を輸送するヒートパイプは、各種熱制御やエネルギー有効利用のため重要な機器である。本研究が対象とする気泡駆動型循環式ヒートパイプ(Bubble-Actuated Circulating Heat Pipe:BACH)は、若狭湾エネルギー研究センターが発明したものである。(図-1)

II. BACHの特性確認

上下をつなぐ2本のパイプ(ポリカーボネイト製、内径は 41mm、27mm)の長さを2mとした長尺のBACHを用いて特性の確認を行った。パイプの下側につながる容器を熱水で加熱(約90℃程度まで)し、パイプの上側につながる容器を冷水で冷却(約6℃)し、下から上への熱輸送量を冷水の温度上昇をもとに調べた。内部の作動液は、純水あるいは純水とエタノールの混合液とし、作動液の充填高さを変えた。

作動液をパイプの上部(下から 1.95m高さ)まで充填した時の熱輸送量を図-2に示す。作動液のエタノール濃度が高い時に熱輸送量の立ち上がりが見える。

また、熱抵抗は加熱の温度を増加とともに低下する。一連の実験において、熱輸送量の最大は約 1.4kwで、熱抵抗の最低値は 0.04K/w程度とこれまでの実験結果より低い値が得られた。

BACHは、従来のヒートパイプの欠点である上部受熱・下部放熱系でも比較的良好に作動する可能性が見出されており、今後はこの特性について研究を進めていく。

III. 地熱利用の実証試験

福井大学と協力して地熱利用の実証のため、BACHを内蔵したカーブミラーを当センター敷地内に平成 22 年3月に設置した。(図-3)支柱は、地下 1.5m、地上 2.6mであり、その上に直径約 0.8mのミラーが設置されており、BACH(パイプ内径 23mm)の内部には冷媒を充填している。地下の熱がミラー内部まで伝わっていることを確認しており、平成22年度も効果の確認等を継続していく。

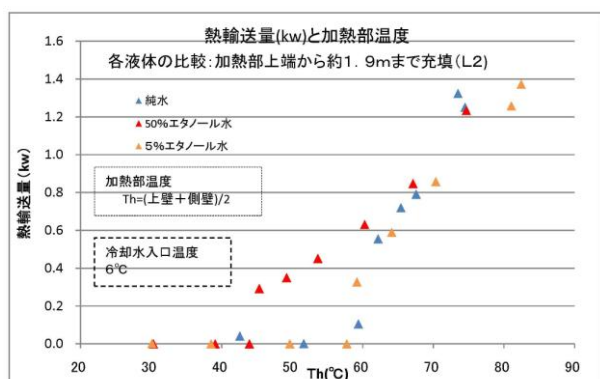


図-2 温度差と熱輸送量

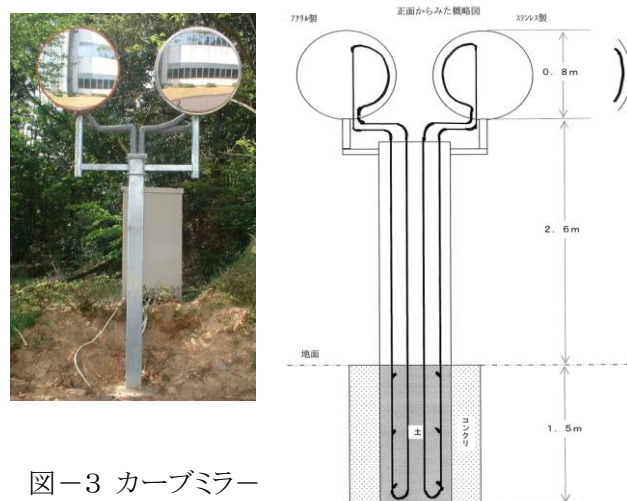


図-3 カーブミラー

^{*1}研究開発部・エネルギー開発グループ、^{*2}福井大学、^{*3}共和製作所、^{*4}ナック・ケイ・エス

本研究は、文部科学省委託事業「都市エリア産学官連携促進事業(ふくい若狭エリア)」の一部として、福井大学、共和製作所、ナック・ケイ・エスと協力して実施した。

4.5.3. 化学反応を用いた蓄熱サイクルの開発

Study on heat storage cycle system using chemical reaction

鳥取章二^{*1}、小倉裕直^{*2}

Shouji TOTTORI and Hironao OGURA

Abstract

The possibility of chemical heat storage and heat transport system and the actual proof of the introductory effect were tried by container model experiment and a case study in various heat sources for the purpose of developing the chemical heat storage and the heat transport system. Since generation of cold heat was also performed, it turned out that the big effect is acquired from an environmental side (carbon-dioxide emissions) and a cost side in the process from heat storage to heat supply by using a chemical heat storage container.

要約

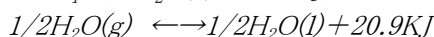
様々な熱源に対応かつ供給可能な化学蓄熱・熱輸送システムを開発することを目的として、コンテナモデル実験とケーススタディにより化学蓄熱・熱輸送の可能性と導入効果の実証を試みた。化学蓄熱では冷熱の生成も行えることから、化学蓄熱コンテナは蓄熱から熱供給までの過程で環境面(二酸化炭素排出量)及びコスト面から大きな効果が得られることが分かった。

I. 緒言

廃熱、太陽エネルギー、地熱など未利用エネルギー有効利用の観点から蓄熱及び熱輸送技術の確立が必要不可欠になってきている。蓄熱には顕熱蓄熱、潜熱蓄熱、化学蓄熱の三種類があるが、現在実用化されているのは顕熱蓄熱、潜熱蓄熱がほとんどである。化学蓄熱は、他の蓄熱技術と比べて蓄熱の際の熱損失が少なく、蓄熱密度も大きいと、よりコンパクトな蓄熱システムの構築が可能である。そこで本研究では、事業所からの廃熱などの利用に適用可能な化学蓄熱・熱輸送システムを開発することを目的としている。

II. $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ を用いる化学蓄熱

本研究に用いる蓄熱材 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ の脱水蓄熱及び水和放熱に関する化学式を以下に示す。



本システムでは、蓄熱材を内部に保有する反応器と内部に水を保有する蒸発・凝縮器を対として用いる。(図-1) 高温の熱を外部から反応器に加えることで蓄熱材の脱水反応が起こり、熱が蓄熱材に蓄えられ、発生した水蒸気は蒸発・凝縮器に移動して凝縮する。(脱水蓄熱) 一方、蒸発・凝縮器内の水が自然発生的に、あるいは外部から熱を奪い蒸発し、蒸気は反応器側で水和反応を起し、反応熱を発生させる(水和放熱)。この時の蒸発潜熱は冷熱として利用できる。実験では、平均粒径 0.7~1.0mm の $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (石膏)を 453K(180℃)にて 5 時間焼成し CaSO_4 (無水石膏)としたものを用いた。

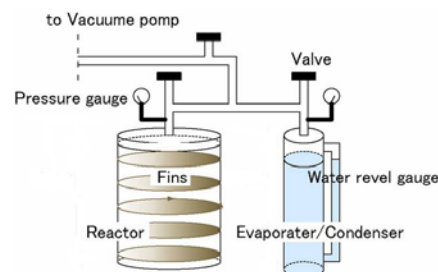


図-1 反応器と蒸発・凝縮器

III. 実験及び結果

1. 蓄熱コンテナ実験(コンテナモデル実験)

(1) 実験方法

実用化段階では対となった反応器／蒸発・凝縮器が多数コンテナ内に収納される。実験においては、4対の小型の反応器／蒸発・凝縮器を内蔵する容器を用いた。各反応器には、約560gずつの CaSO_4 粒子を上下方向の層に分けて充填した。また、昨年度までの結果に基づき充填率は約30%とした。各蒸発・凝縮器には十分な量の水を封入し、反応器と蒸発・凝縮器を連結するバルブを閉じた状態でそれぞれの容器内を真空に引く。4個の反応器の外周に恒温槽からの油を流し、また4個の蒸発・凝縮器の周りには別の恒温槽から水を流し、熱交換を行わせた。油の設定温度は、放熱実験時は 313K (40℃)、蓄熱実験時は 423K (150℃)とした。また水の設定は各過程共に 283K (10℃)とした。反応器及び蒸発・凝縮器のまわりに伝熱促進のため、ワイヤーを挿入し、その量を変えた。放熱実験、蓄熱実験とも実験時

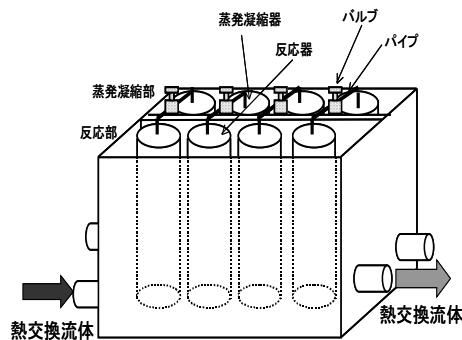


図-2 コンテナモデル実験装置

^{*1} 研究開発部 エネルギー開発グループ、^{*2} 千葉大学大学院

本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが関西電力・日本原子力発電・北陸電力の3社から受託し、千葉大学と共同で実施した。

間は6時間を基本とし、蓄熱材の反応率は、各蒸発・凝縮器の液面の高さの変化をもとに算定した。

(2)実験結果

放熱実験：反応器周りの流体(油)の流量、あるいは蒸発・凝縮器周りの流体(水)の流量を前年度までより多く流し、水和反応速度が一定の状態を保持することができることを確認した。熱交換流体の流路内のワイヤー量を増やすと、流体の流量は低下するが、挿入量の増加が、開始直後の反応速度及び試料温度の上昇速度の増加に与える影響が大きいことも確認した。実験開始からの反応率の推移の例を図-3に示す。また、反応開始後60分程度で流体の熱交換量は14W程度に達し、約2時間程度継続し、終了までの熱交換量は、理論生成可能温熱量の約75%であった。

蓄熱実験：反応器まわりの油の温度を423K(150℃)とした6時間の実験において反応率が約80%の結果を得ていたが、その後の蓄熱実験において反応率の低下がみられた。油の温度を438K(165℃)に増加させたところ反応率は回復した。また、後述の2.の繰り返し使用実験ではこの低下は見られておらず、反応率が低下した実験の前に蓄熱材試料を長時間水蒸気雰囲気中にさらしたことが原因であると考えられる。

2.蓄熱材の繰り返し使用実験

蓄熱材は多数回使用できることが求められるため、繰り返し使用による反応率の変化等を確認した。

(1)実験方法

1対の反応器／蒸発・凝縮器を1.の実験とは別に製作した。反応器を約303K(30℃)の水槽に漬けた(水和放熱)後、ただちに約423K(150℃)の油槽に漬けた(脱水蓄熱)。浸漬時間は各々120分である。この後、未反応の試料に付着する水等を除去するために真空ポンプによる強制脱水を行った。これらの過程を1サイクルとし、35サイクルの繰り返しを行い、各サイクルにおける反応率等を計測した。

(2)実験結果

120分の放熱実験における反応率は、35サイクルの間ほぼ70%であり、大きな変化はみられなかった。また、蓄熱における反応率にも大きな変化はみられなかった。

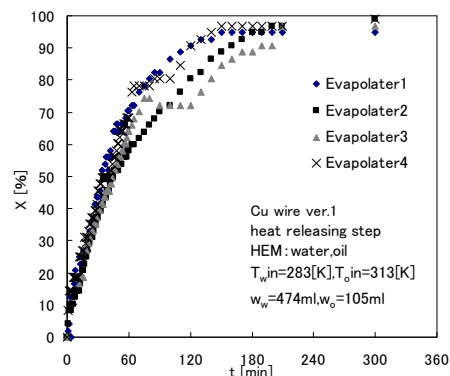


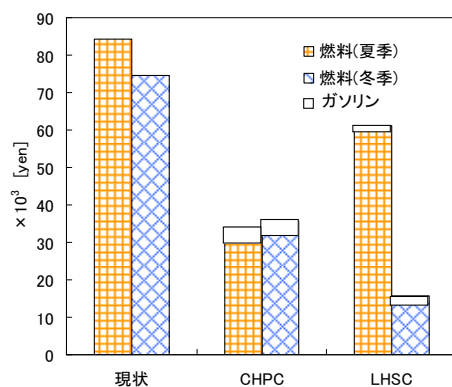
図-3 水和放熱(G実験)の反応率
(反応器周りの流体流量を増加)

IV.導入時のケーススタディ

調査をもとに、熱源及び熱需要の想定を行った。熱源地では、排ガス(約190℃)がコンテナ内の反応器周りを流れる熱交換流体に熱を与え、423K(150℃)まで低下する。熱交換流体の温度は413K(140℃)まで昇温できると仮定した。排ガスからコンテナに投入することができる熱量は、28.8GJ/日と想定した。熱需要地においては、夏、冬とも温熱及び冷熱の需要があり、夏場の温熱需要は13.8GJ/日、冷熱需要は31.5GJ/日、冬場の温熱需要は33.4GJ/日、冷熱需要は7.9GJ/日である。細かい内訳は省略するが、温熱は、吸収式冷温水発生機(温熱モード)及びボイラー、冷熱は吸収式冷温水発生機(冷熱モード)、ブラインチラーにて発生されている。

このような熱需要に対して、熱源からの温熱を化学蓄熱コンテナを用いて輸送する場合の効果を算定した。比較のため潜熱蓄熱コンテナ¹⁾を用いたケースも算定した。なお、輸送には20tトラクタを用い、輸送時間は30分と想定し、ボイラーの成績係数等を公開資料もとに用いた。

熱需要地における燃料費の削減効果を図-4に示す。蓄熱システムの導入により輸送費として新たに輸送用燃料(ガソリン)が必要となるもののその影響は小さく、燃料費を大幅に削減できること、また、夏季と冬季とで削減効果に幅がある潜熱輸送コンテナに比べ、ケミカルヒートポンプは四季を通じて安定した削減効果が期待できることがわかった。CO₂排出量についても同様のことが言える。



(CHPC:化学蓄熱、CHSC:潜熱蓄熱)
図-4 システム導入後の燃料費

V.まとめ

化学蓄熱の特性が実験室規模で確認され、導入効果が明らかとなった。今後充填率や熱交換性能の向上を図る必要がある。

参考文献

1)室岡裕之、小倉裕直 若狭湾エネルギー研究センター成果報告集、Vol.9、(2006)、72-75

4.5.4. 太陽熱エネルギー利用研究と太陽炉

The Research about Utilization of Solar Thermal Energy and the Solar Furnace

重田達雄*、天田健一*

Tatsuo SHIGETA and Kenichi AMADA

Abstract

The research on the method of manufacturing the spongy iron by using “Solar furnace” with which the ultra high temperature was produced by collecting clean and unlimitedly existing sunlight with the Fresnel lens and the method of generating hydrogen from the sponge iron at any time was made to be advanced further. Additionally, the examination of the device that invented the electrical energy by combining the solar furnace with Stirling engine began.

要約

クリーンで無尽蔵な太陽光をフレネルレンズで集光することにより超高温を作り出す「太陽炉」を用いて海綿鉄を製造する方法と、その海綿鉄から随時に水素を生成する方法に関する研究をさらに前進させた。加えて、太陽炉とスターリングエンジンを組み合わせることにより、電気エネルギーを生み出す装置の検討を開始した。

I. 緒言

地球上には、クリーンで無尽蔵な太陽光が燦々と降り注いでいる。近年、化石燃料の大量消費による地球温暖化や資源枯渇が大きな問題となっているが、太陽光を利用することによってエネルギー資源の確保や材料開発が可能となる。なかでも、フレネルレンズを用いて太陽光を直接収集し、短時間で超高温の場を作り出す「太陽炉」は、有力な手段となる。

当センターではこれまで 10kW 大型太陽炉(図-1 参照)や小型太陽炉はんたか(1.4kW、0.7kW、0.3kW の 3 種類がある)を製作し、その太陽炉を利用する研究では昨年度に Fe_2O_3 試薬からの海綿鉄製造を初めて試みたが、今年度はさらに効率よく進めるために電動回転式サガーを開発し、エネルギー貯蔵を見据えて乾式メカニカルアロイングを試みた。

II. 海綿鉄からの水素生成

昨年度までの研究では、サガー(主にステンレス製の反応容器、茶筒状)に Fe_2O_3 試薬と備長炭等の炭素分を粉末状あるいはペレット状で装填し、950～1,000℃で加熱保持することによって海綿鉄が得られることが分かった。そして、ボールミルを使用して水を添加した状態で行う湿式メカニカルアロイングにより、水素の発生を確認して来た。今年度は、さらに効率よく海綿鉄を製造する方法を探るた



図-2 加熱中の回転式サガー



図-1 10kW 大型太陽炉の近影

めに電動回転式サガーの試作検討を行うとともに、将来的な実用化を考慮して乾式メカニカルアロイングの検討を行った。

1. 電動回転式サガー

従来の固定式に替えて、電動回転式サガー(内容積は約 0.50～10)を地元業者の協力を得て完成させた。図-2 に加熱中の写真を示す。これによって、一度により多くの海綿鉄を大型太陽炉で作り出すことが可能になったが、軸方向の送り機構は手動に頼っているため、更なる改善の余地がある。

2. 乾式メカニカルアロイング

湿式メカニカルアロイング(MA)では実施時点で水素が発生してしまうので、エネルギーとして貯蔵するには水素の形で保存するしかない。これを例えば活性な海綿鉄の状態に貯蔵して必要時に水を加えることにより水素を発生させることができれば、貯蔵の自由度が飛躍的に上がる。そこで今年度は海綿鉄に乾式 MA を試行することとした。遊星ボールミル装置の製造メーカーである榊原本鐵工所に依頼し、海綿鉄を 4mm 程度の大きさにしたものを、直径 4mm の SUS 球とともに 150G で 1 時間の乾式 MA を実施した。これを水中に投じたところ、ほぼ理論量の水素発生を確認、さらにアルゴンガス雰囲気中に数か月間保管した乾式 MA 品についても同様の水素発生を確認した。また、乾式 MA 後の海綿鉄の X 線回折結果からシェラーの式を用いて結晶子径を求めたところ、およそ 30nm まで微細化していることが判明し、このことが海綿鉄活性化の大きな要因のひとつになっていると考えられる。

III. スターリングエンジンによる発電

太陽炉により得られるエネルギーは熱エネルギーであるが、これが電気エネルギーであれば極めて柔軟な使い方が可能となる。そこでスターリングエンジンによる発電に着目し、百瀬機械設計㈱の協力を得てはんだかと組み合わせることとした。500℃の入熱によって 1,500rpm で出力 200W が可能な L 型クランクスターリングエンジンの特徴は、作動ガス He の圧力が 1.0Mpa 以下であり高压ガス法に抵触しないことと、主要部品が 12 点と非常に少ないこととある(写真 3 とともに、同社ホームページより引用)。

今回検討を開始したこの装置については、平成 22 年 6 月に福井市を中心に開催される 2010 年 APEC エネルギー大臣会合関連イベントでの展示を予定している。



図-3 使用予定の
スターリングエンジン

IV. 対外活動

海綿鉄からの水素生成をまとめて、下記の学会で発表した。

- ・World Renewable Energy Congress 2009-Asia (5 月、バンコク)
- ・Hydrogen + Fuel Cells 2009 Conference (6 月、バンクーバー)
- ・粉体粉末冶金協会 H21 年春季大会 (6 月、京都)

また、マスコミの注目度は相変わらず高く、NHK の「おはよう日本」他数局のテレビ番組に取り上げられた。

見学者も多岐にわたり、民間企業数社のほかサウジアラビア国の要人や日本鉄鋼協会の見学ツアーも訪れ、教育関係では県内中学校への太陽エネルギー関連授業や県内中高校教員の研修に使用された。

一方、加熱調理用小型太陽炉はんだかについては、前年度に引続いて展示・デモを何回となく実施したが、このなかには青森県の NPO 団体との共同研究があり、青森県内で各種イベントに参加して実演を行った。図-4 はてんこもりでの実演風景である。

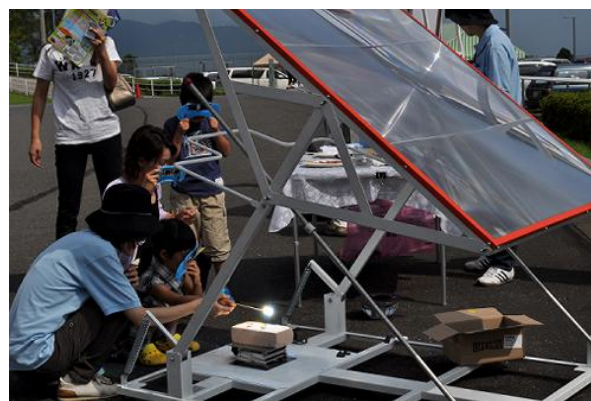


図-4 はんだかによるマシュマロ焼き
(てんこもりにて)

V. まとめ

本研究では、海綿鉄に関して太陽炉を使用する製造方法や乾式メカニカルアロイングを検討するとともに、太陽熱エネルギーをスターリングエンジンに入熱することによって電気エネルギーを得る装置の検討を開始した。次年度以降はこれらをさらに先へすすめながら、粉殻から Si あるいは SiC を分離するというあらたな目標に取り組む予定である。

4.5.5. 太陽熱エネルギー利用による熱交換器設計要素技術の検証試験

Verification test of the element technology for design of heat exchanger using solar heat energy

大久保 剛^{*1}、堀江 茂斉^{*1}、天田 健一^{*2}、重田 達雄^{*2}

Takeshi OKUBO, Shigenari HORIE, Kenichi AMADA and Tatsuo SHIGETA

Abstract

The element test concerning the heat exchanger characteristic that utilized solar heat was carried out. In this test, heat source was converged sunlight by using 10kW solar furnace, and amount of the heat exchange in the heat exchanger and the temperature distribution in the tube of heat exchanger were measured. The result of the simulation of the heat exchanger performance and the measurement result showed good correspondence.

要約

太陽熱を利用した熱交換器特性に関する要素試験を実施した。本試験は 10kW 太陽炉を使用して太陽光を集光し、これを熱源とした熱交換器での熱交換量、熱交換器内の温度分布を測定した。計測結果と性能評価ツールの解析結果との比較を行った結果、両者は良い一致を示した。

I. 緒言

近年、二酸化炭素排出による地球温暖化、化石燃料の枯渇による地球レベルでの環境問題、エネルギー問題が取り立たされており、省資源・省エネルギー化やエネルギー再生等の研究・開発が盛んに行われている。その中でも、地球上に最大約 $1\text{kW}/\text{m}^2$ で降り注ぐクリーンで無尽蔵な太陽光を利用したエネルギー変換技術・材料開発が重要となってきた。本研究では、太陽熱エネルギーを利用した高効率熱交換器の開発を目的としており、熱交換器の設計に必要な性能評価解析ツールの検証を行うため、試験と解析を実施し、解析精度の評価を行った。

II. 試験装置

1. 光源

集光用フレネルレンズは図-1 に示す 10kW 大型太陽炉のフレネルレンズを使用した。レンズ面の大きさは $3.3\text{m} \times 3.3\text{m}$ であり、日射強度 $1\text{kW}/\text{m}^2$ とすると約 10kW の太陽光を集光できることになる。

2. 熱交換器

熱交換器はフレネルレンズに対向するように配置した断熱容器底面に平面状に伝熱管を配列した形状とした。熱交換媒体は空気とし、熱交換器内部温度を高温にするために空気予熱ヒータを設置している。図-2 に装置の写真を示す。空気の流量、熱交換器入口、出口の空気温度を測定することにより、熱交換量を評価する。また、伝熱管表面、熱交換器の壁面温度を測定し、解析との比較用データとした。

III. 試験結果

1. 熱交換器への入熱量分布

熱交換器への入熱量は熱流束計により測定した。フレネルレンズに設置した直達日射計の値を元に、単位日射強度 ($1\text{kW}/\text{m}^2$) に対する熱流束で評価した。測定結果を図-3 に示す。熱交換器内部への入熱量は日射強度 $1\text{kW}/\text{m}^2$ 当たり平均 $3.77\text{kW}/\text{m}^2$ であった。検証試験では本データを元に日射強度を測定することにより、熱交換器への入熱量を算出した。

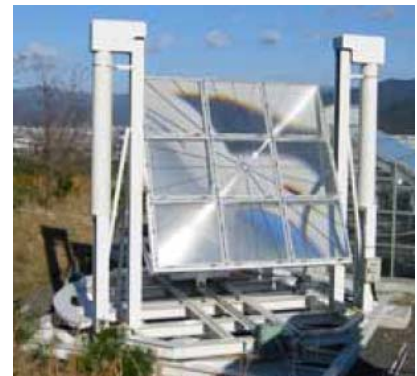


図-1 10kW 大型太陽炉

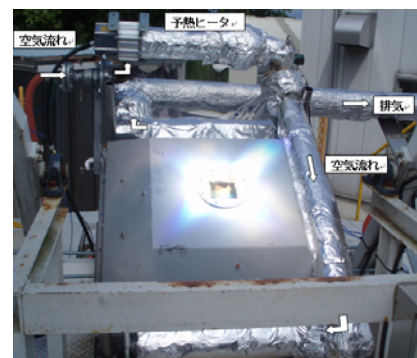


図-2 熱交換器外観

^{*1}三菱重工業(株)、^{*2}研究開発部・エネルギー開発グループ

本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターと三菱重工業(株)との共同研究として実施した。

2. 伝熱試験結果

解析ツールの検証のため、日射量が比較的安定し熱交換器内部の温度が高温で安定した状態の各部の温度データを取得した。主な計測データを表－1に示す。

表－1 伝熱試験の主なデータ

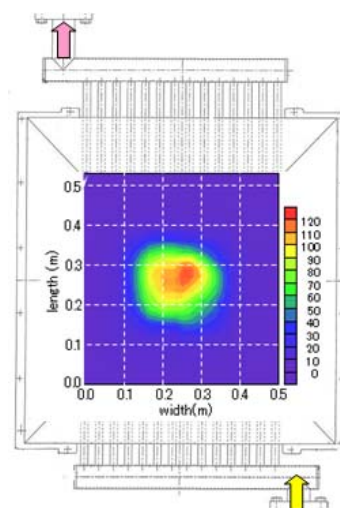
日射強度	0.855kW/m ²	熱交換器入熱量 ^(注1)	3.2kW
空気流量	0.66kg/min	入口空気温度	353℃
出口空気温度	440℃	熱交換量 ^(注2)	1.0kW
壁面からの放熱量 ^(注3)	1.8kW	入射窓からの放熱量 ^(注4)	0.4kW

(注1) 熱交換器入熱量は日射強度から算出

(注2) 熱交換量は空気流量と入口・出口空気温度差から算出

(注3) 壁面からの放熱量は熱交換器壁面温度から算出

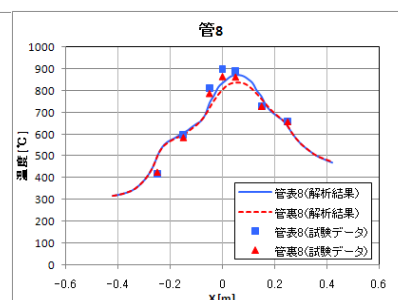
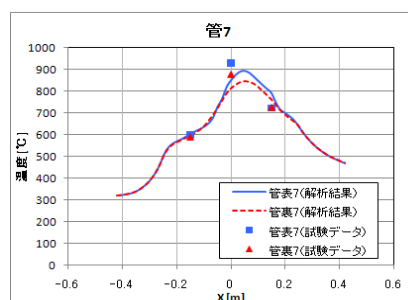
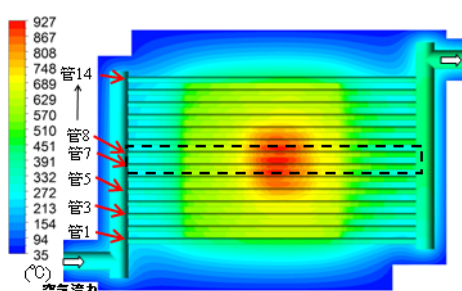
(注4) 入射窓からの放熱量は(熱交換器への入熱量-熱交換量-壁面からの放熱量)として算出



図－3 熱交換器内熱流束分布
(kW/m²)/(日射 1kW/m²)

IV. 解析結果

表－1に示した日射強度、空気流量、入口空気温度を境界条件として、性能予測ツールにより熱交換器における伝熱解析を行なった。入熱量が高い熱交換器中央の伝熱管表面温度の比較を図－4に、試験結果と解析結果の比較を表－2にまとめて示す。図－4において実線が解析結果、プロットが計測値を示す。各部の温度、熱交換量は良い一致を示し、誤差4%以内で予測可能であることが判った。



図－4 試験結果と解析結果の比較

(左側:解析の温度分布結果、右側:中央管表面温度の比較)

表－2 試験結果と解析結果の比較

	熱交換量 (kW)	伝熱管 最高温度(℃)	断熱材表面 最高温度(℃)	出側 空気温度(℃)
試験	1.01	930	930	440
解析	1.03	893	924	450
誤差 ^(注5)	0.98	1.04	1.01	0.98

(注5) 試験値/解析値

V. まとめ

太陽熱を利用した熱交換器の性能を評価するためには、入射した太陽光エネルギーを入熱条件として、伝熱管内の熱媒体の対流伝熱、熱交換器内部の放射伝熱、伝熱管材料内及び断熱壁内の熱伝導といった複合問題を解く必要がある。特に放射解析は内部の形態係数を算出するため、その計算精度の評価が必要となる。本研究により、試験結果と解析結果が誤差4%以内と良い一致を示し、実機でも本解析ツールを使用することが可能であることが判った。今後、実機レベルの熱交換器設計へ適用を図る予定である。

4.5.6. 太陽熱駆動スターリングエンジン発電システムの開発

Development of Stirling Engine Generator System driven by Concentrating Solar Power

天田健一*、重田達雄*、伊藤英樹*

Kenichi AMADA, Tatsuo SHIGETA and Hideki ITO

I. 緒言

太陽エネルギーの効率的な利用法開発の一環として、フレネルレンズによる太陽光の集光により高温を得る方法を利用し、カルノーサイクルに近い熱効率が得られると考えられているスターリングエンジンによる発電システムの開発を試みた。太陽光の集光装置としては、若狭湾エネルギー研究センターが開発した小型太陽炉「はんたか」(1.4kW)を用い、スターリングエンジンは、かつてアイシン精機㈱で長年にわたり同エンジンの開発に携わり多くの開発経験を有するエンジニアが新たに開発した 200W の発電機を装備したものを採用した。同エンジンは 500℃の高温点と常温の温度差で駆動するように設計されており¹⁾、今回、若狭湾エネルギー研究センターにより考案した集光熱をスターリングエンジンの加熱部に導く方式を用いている。

II. 内容

太陽光エネルギー利用は、現在、光電効果による太陽電池が商品化され、最近では一般住宅の屋根に装着されている光景を目にする機会が多くなったが、それらによるエネルギーの利用効率は20%程度に留まっており、地球環境の保全が叫ばれるなかで、炭素フリー化に最も貢献するクリーンな太陽エネルギーをさらに有効利用する方法が求められている。これまで、太陽エネルギー利用は、実用化を踏まえた経済性の議論から小規模発電であれば太陽電池による方法、中規模であればスターリングエンジンによる方法、さらに大規模であれば蒸気タービン発電機による方法が良いと云われている。これらの内、太陽電池については上記のとおり実用化が既に行われており、また大規模な発電についても、米国カリフォルニアやアラビア半島等で既に実用発電プラントが建設され稼働している。ところが、中規模域の太陽発電装置に関しては、反射鏡との組み合わせによる実用化例があるものの、小型化が可能で、メンテナンス性に優れ、また太陽光を 100%近く発電に利用できる特徴を有するフレネルレンズ方式による実用化例がないのが現状である。このようなことから、今回、若狭湾エネルギー研究センターが有するフレネルレンズ方式による太陽光エネルギー利用技術を利用して、スターリングエンジンによる高効率を目指した太陽光発電システム開発に今年度から着手した。

フレネルレンズによる太陽光の集光を行う場合、反射鏡型と異なり、重く、大きいエンジン発電機を地上近くに設置することができ、太陽光利用の観点からは入射光を遮ることがない利点を有する。さらに発電システムの躯体構造設計の観点からは重量物を太陽方向の焦点位置で支える必要がないことから、台風のような強風に晒される日本の気候条件を考えると大きなメリットがあると考えられる。

フレネルレンズ方式によるスターリングエンジン発電システムの成立性について、現在、これまでに開発したプロトタイプ¹⁾の製作と性能評価を行っている。同試作機の基本概念を図-1 に、また開発状況を図-2 に示すが、手動により太陽を追尾する試験では、200W の発電機を有するスターリングエンジンの駆動を確認している。

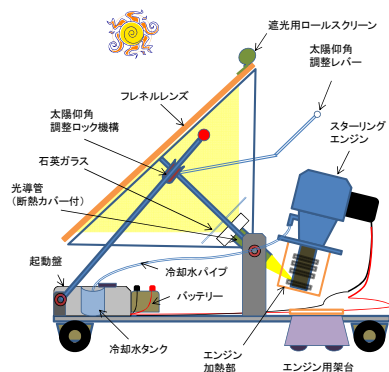


図-1 太陽熱駆動スターリングエンジン
発電システム基本概念



図-2 太陽熱駆動スターリングエンジン
発電システム(200W 発電)試作機

参考文献 1)スターリングエンジンの設計 山下 巖、百瀬 豊他 パワー社

*研究開発部・エネルギー開発グループ

4.5.7. 若狭湾における海洋環境モニタリングシステムに関する調査研究 Study on Marine Environment Monitoring System for Wakasa Bay Area

天田健一*、伊藤英樹*、
Kenichi AMADA and Hideki ITO

Abstract

Several numbers of nuclear power plants are generating electricity in Wakasa bay area. The plant operating companies and local government agency are monitoring radioactivity in the environment. In such monitoring activities, it is often pointed out that the monitoring in ocean is not speedy in data acquisition in comparison with the ones on land. This study started to give a solution to the problem in 2007 and will last until 2011. The study in 2008 made a detailed survey in eastern part of the bay following the previous survey conducted over the bay in 2007. A computer analysis methods and simulation model were also investigated based on the results obtained in the surveys.

要約

多数の原子力発電所が立地する若狭湾の沿岸部では、事業者及び地方自治体等により環境放射線モニタリングが実施されているが、陸上における環境放射線モニタリング体制に比べて、海洋における環境放射線モニタリングの現状は、リアルタイムにデータが得られず、迅速性に欠ける点がある。このため、各種モニタリング技術を駆使し、若狭湾における海洋環境モニタリングシステムの構築に資する調査研究を 2007 年度からの 5 年計画で開始している。本年度は、若狭湾の概要を調べるために行った湾全体の調査結果を踏まえて、同湾の東域を詳細に調査し、その結果を踏まえて長期の海洋環境のシミュレーションを行う解析モデルの構築を行った。

I. 緒言

若狭湾は国内でも有数の好漁場であるとともに、その沿岸部には多数の原子力発電所が立地しており、我が国の原子力発電所立地地域として先駆的な役割を果たしてきた。今後も原子力の平和利用を推進する上では、地域住民から一層の信頼を得ることが必要不可欠であり、迅速な情報提供と住民の安全確保を図るために、海洋環境におけるモニタリング体制を充実させることは重要である。

これを受けて、本研究では各種モニタリング技術を駆使し、平常時における若狭湾の海洋環境の安全性を確認するために、放射能のバックグラウンド値の把握と、万一の事故等に備えた海洋への放射性物質の移行・拡散状況の把握に関する中長期予測モデルを開発することを目的とし、若狭湾東域を中心に調査を行った。

II. 調査及び解析モデルの開発

若狭湾地域における放射能等のバックグラウンド値を把握するため、平常時の詳細な元素分布図を作成するとともに、陸域起源物質が海底堆積物に及ぼす影響を地域別に推定する。今年度は、若狭湾東部の美浜から越前岬周辺地域を重点的に観測した。調査実施場所を図-1に示す。

分析に供する試料として、若狭湾の東部越前沖から小浜東部海域において 20 点の海底堆積物を採取した。また 5 河川の河口付近について川底の表層堆積物を採取した。採取した試料については、粒度組成、含水率、強熱減量、元素分析、有機態炭素、無機態炭素、オパール態ケイ酸、全リン、全窒素の分析・測定を実施した。

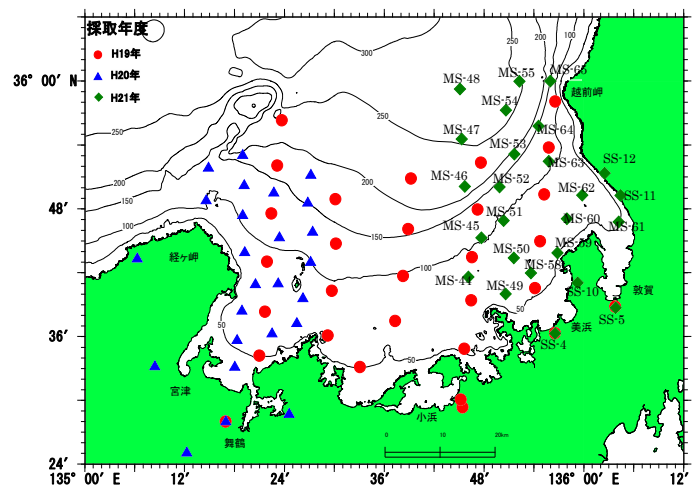


図-1 若狭湾地域における海洋調査位置(2009 年度)

*研究開発部 エネルギー開発グループ 本研究は、文部科学省のエネルギー対策特別会計委託事業による委託業務として、(財)若狭湾エネルギー研究センターが実施した平成 21 年度「若狭湾における海洋環境モニタリングシステム等に関する調査研究」の成果の一部である。

海底堆積物の堆積速度の調査では、図－1に示す MS-53 及び MS-62 より不攪乱柱状採泥器(離合社:HR 型)を用いて柱状試料を採取し、 γ 線計測法による鉛－210 法¹⁾にて堆積速度を測定した。なお、測定にはバックグラウンドの低減を目的に、遮蔽体の改良及び反同時計数法の最適化を組み合わせた極低バックグラウンド仕様のゲルマニウム半導体検出器を用いた。

放射性物質の中長期的な移行・堆積に関する解析モデルの構築については、放射性物質拡散の計算対象期間を数十年から百年程度と、かなりの長期間を想定していることから、中長期用流動モデルには、流量収支が厳密に保たれる MAC 法(Marker and Cell Method)²⁾を若狭湾に適用した。水温・塩分の初期分布及び境界流速については、JCOPE(日本沿海予測可能性実験計画)データのうち、2003 年～2006 年までの4年間平均値を用いることとし、定常または準定常に達するまで計算を行い、若狭湾の基本流動場を得ている。

一方、放射性物質拡散計算については、OECD/NEA(経済協力開発機構原子力機関)³⁾のモデルを用いることとした。本年度は、各層における物質濃度の時間変化特性を評価するため、鉛直三次元モデルにて計算を行った。パラメータ類は、今回が試算であるとの位置づけから OECD/NEA の値を用い、計算期間 30 年、対象核種は ^{137}Cs とした。

III. 結果及び考察

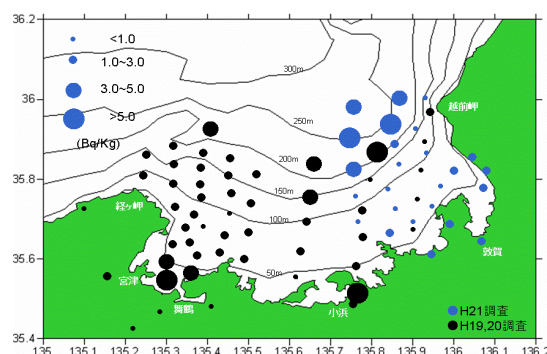
(1) 若狭湾地域における海洋環境調査

a. 陸域及び海域の元素分布特性

若狭湾における底質は、平成 19 年度調査の結果から概ね砂質または砂泥で占められ湾口付近中央の深深度海域及び湾奥付近に泥質が存在していることが分かっており、これらは過去の知見⁴⁾とほぼ一致していた。本年度の調査結果では、粒度組成は敦賀湾湾口部でシルト及び粘土・コロイドが全体の約 90%以上を占めており、天然漁礁付近や半島の岬付近では、粗砂・礫が 80%程度がそれ以上含まれていた。一方、河床堆積物では、礫や粗砂が多く含まれ、シルトと粘土・コロイドの割合の和である含泥率は 2%未満と極めて少なかった。

珪藻などの植物プランクトンの指標となるオパール態ケイ酸は、湾口および湾外側で高く、河床堆積物にはほとんど含まれなかった。貝殻や石灰質の殻を持つ生物の指標となる無機態炭素は、含泥率が低く砂質が多い岸寄りの調査点に多く含まれ、河床堆積物にはほとんど含まれていなかった。このことは、無機炭素及びカルシウムの供給源は陸上側ではなく海側であることを示している。有機体軟組織や有機物の指標となる有機態炭素は、ほぼオパール態ケイ酸との間に正の相関関係が認められた。

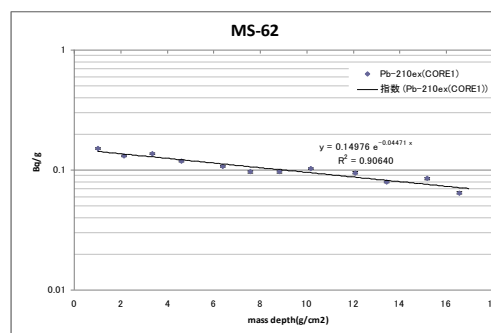
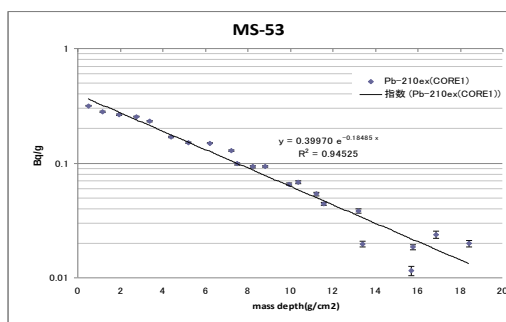
人工放射性元素では、 ^{137}Cs のみ検出され(図－2)、その他の核種は検出されなかった。検出された ^{137}Cs 濃度は、全国の発電所周辺海域における海洋環境放射能測定結果の変動範囲内であった。



図－2 若狭湾東域の ^{137}Cs 濃度分布

b. 海底堆積物の堆積速度

若狭湾東部海域の堆積速度の測定については、MS-53 の平均質量堆積速度が $0.168\text{g cm}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、平均堆積速度が 0.334cm y^{-1} であった。また、MS-62 の平均質量堆積速度が $0.695\text{g cm}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、平均堆積速度が 0.674cm y^{-1} (図－3)であった。

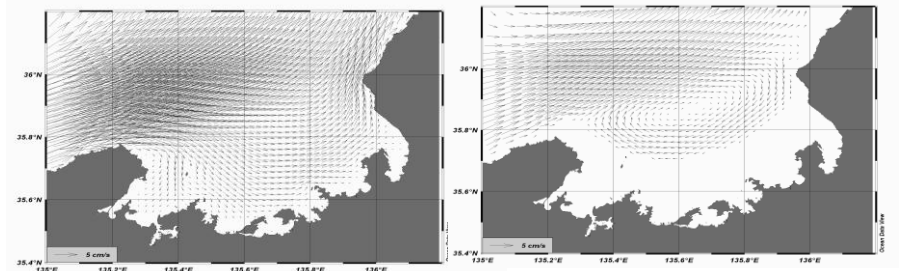


図－3 海底堆積物の堆積速度 (左 : MS-53, 右 : MS-62)

(2) 放射性物質の中長期的な移行・堆積に関する解析モデルの構築

a. 若狭湾における中長期用流動モデルの開発

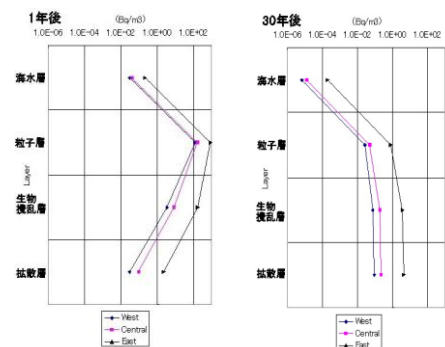
計算結果の特徴として、表面流は西から東への一様な流れであるが、水深 50m 以深では湾内に時計回りの環流がみられた（図－4）。また、流れについては過去に実施した係留計による流速結果（2003 年～2006 年までの平均値）及び JCOPE データとモデル計算結果を比較したところ、京都府側で良い一致がみられたが、福井県側では一致しなかった。これは流向の安定性が福井県側よりも京都府側で高いことが原因と考えられる。これらの結果から、今回の計算で、放射性物質拡散を計算するための基本流動場を得ることができた。



図－4 流れの計算結果（左：表面、右：水深 100m）

b. 若狭湾における中長期用放射性物質拡散モデルの開発

計算結果より、1年後及び 30 年後における鉛直濃度分布を検証した（図－5）。その結果、海底に達した ^{137}Cs は放射壊変により濃度を薄めながら、下層へ移っていく状態が示された。このことから、今回用いた鉛直三次元の放射性物質拡散モデルは、正常に稼動することが分かった。今後は、放射性物質拡散モデルの本計算を実施するためのパラメータ等について更なる検討を行う必要があり、特に粒子の沈降速度に関しては、若狭湾の特性値を反映する。



図－5 海底の鉛直濃度分布（左：1 年後、右：30 年後）

IV. まとめ

本研究は、若狭湾における元素分布特性の現状を把握するとともに、若狭湾沿岸部に立地する原子力発電所を対象として海域の放射性物質の移行・拡散状況を予測するシミュレーションモデルの開発を行い、海洋環境モニタリングシステムの充実を図るものである。これらの海洋調査のデータは、若狭湾域の漁業関係者への海流や水質に関する情報や水産資源の保護、育成、変動予測などへの活用が期待されることから、本研究が、わが国の原子力の平和利用促進に資するのみならず、若狭地域の産業振興の一助になれば幸いである。

V. 謝辞

最後に、原子力産業と立地地域の産業振興に貢献できる研究の機会を与えて頂いた文部科学省のエネルギー対策特別会計委託事業に感謝するとともに、同事業における委員会でご指導を頂いた委員の先生方、更にご協力とご支援を頂いた地域の漁協関係団体、福井県水産課、福井県原子力環境監視センターの方々から御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課防災環境対策室（1992）ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー 放射能測定法シリーズ 7
- 2) 小林紘士，和田明，角湯正剛：数値流体実験，朝倉書店，（1989）
- 3) 和田明：海洋環境水理学，丸善株式会社 （2007）
- 4) 林 勇夫，志岐常正（1985）若狭湾(1)地質．日本全国沿岸海洋誌，日本海洋学会沿岸海洋研究部会編，東海大学出版会，pp.947-957.
- 5) 志岐常正，西田史朗（1987）海洋地質．日本の地質，日本の地質「近畿地方」編集委員会編，共立出版，pp.183-191.

4.5.8. もんじゅ周辺海域リアルタイム流況観測に関する調査

Study of sea radar on remote sensing method of ocean current at surrounding areas of Monju Site

天田健一*、伊藤英樹*
Kenichi AMADA and Hideki ITO

Abstract

Feasibility and suitability of a remote-control and real-time observation for sea current by sea radars was examined at "Shiraki sea area" including the surrounding areas of Monju Site.

The observation instruments of sea radar were set up at two sites of Kokonogi district and Kaburaki district.

A continuous data of sea current was successfully collected by the sea radars from 11 December, 2009 to 15 January, 2010.

要約

もんじゅ周辺海域を含む「白木海域」での海洋レーダーによる遠隔リアルタイム流況観測の実用性及び適応性について検討を行った。海洋レーダー観測設備を、白木海域が一望できる小樟（このぎ）地区と甲楽城（かぶらき）地区の 2 地点に設置した。

海洋レーダーにより 2009 年 12 月 11 日から 2010 年 1 月 15 日までの連続流況観測データを取得できた。

I. 緒言

従来の海洋環境等の調査では、船やブイを利用するため、観測範囲が限定的または局所的（点）で、かつ得られる観測データは間欠的なデータとなっていた。近年、国内では電力及び海洋関係の研究機関等において、海洋レーダーを用いた広範囲かつリアルタイムで連続観測できる技術の研究が進められている。この海洋レーダーを用いて海洋環境調査への適用性及び有用性を検討するとともに、広域にわたる観測データの取得、かつ観測の効率化及び信頼性向上を図ることができる実用化技術の開発に資する。

II. 調査内容

海洋レーダーシステムは、送受信機や解析・通信用 PC を収納した観測シェルタ、送信アンテナ 1 組、受信アンテナ 8 組で構成される。本年度はこの海洋レーダー観測設備を、白木海域が一望できる小樟地区と甲楽城地区の 2 地点に設置し、各観測設備から海面に照射された後方散乱波を受信（ドップラー原理）することにより、海表面の流向・流速成分を算出した。

III. 調査結果

今回の観測時期は海洋条件の比較的悪い冬季であったが、図 1 に示すようにもんじゅ前面を含む海域での流況観測ができ、若狭湾海域での利用の可能性に見通しを得た。また、海洋レーダーの観測範囲は電波の交差範囲の最短点を中心とした扇形に広がり、海洋レーダーに近いほど観測回数が多く、遠ざかるにつれ減少する傾向を示した。

IV. まとめ

海洋レーダーによる観測は既に東京湾や対馬海峡などで行われているが、若狭湾を対象とした観測は初めての試みである。本年度の調査結果より、若狭湾海域での利用の可能性に見通しを得たことから、今後は海洋レーダーによる観測対象海域において海上調査を行い、海洋レーダー観測結果との比較を行う予定である。

*研究開発部 エネルギー開発グループ

本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが日本原子力研究開発機構の受託研究として実施した。

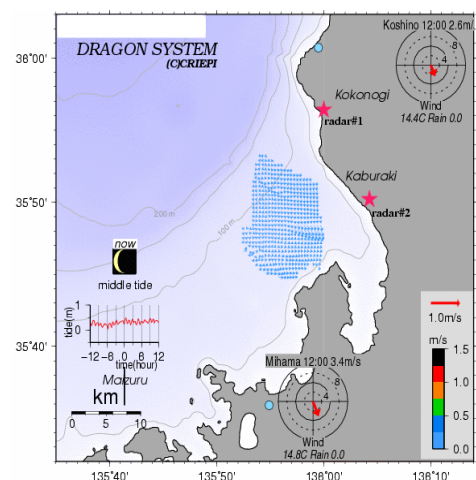


図 1 海洋レーダーによる観測例

4.5.9. 放射分析によるズワイガニの外骨格年齢

Radiometric Skeletal Ages of the Snow Crab, *Chionoecetes opilio*

小野真宏^{*1}、今 攸^{*2}、白木秀人^{*3}

Masahiro ONO, Toshi KON and Hideto SHIRAKI

Abstract

The exoskeletal ages of the snow crab, *Chionoecetes opilio*, from the latest molt to sampling were measured radiometrically in the immature both sexes (instar VII-X), and the adult males (XI-XIII). The exoskeletal ages of each instar VII-X were in the range of 0.67-1.65 years without distinction of sex. Because the sampling season (15, May 2009) was thought to be as near as the molting season, the durations of each instar were estimated to be about one year as reported previously. The duration of instar XI males was estimated to be one year as same as previous reports. However, the duration of instar XII was estimated to be one year and half which was half year longer than previous reports. It was clarified for the first time that the exoskeletal ages of the soft crabs (XI-XIII) which were called in the market were shorter than 0.51 year, and the hard crabs (XI-XIII) were longer than 0.67-0.99 year after their molt respectively.

要約

ズワイガニ未成体雌雄(第 7~10 齢)と成体雄(第 11~13 齢)の外骨格を放射分析し、脱皮から採集時までの外骨格年齢を求めた。第 7~10 齢雌雄それぞれの外骨格年齢は 0.67~1.65 年の範囲にあった。採集された時期(2009.5.15)は脱皮時期に近いとみられたことから、これまでの研究で明らかにされた脱皮間隔が 1 年という報告を追認するものであると考えられた。第 11 齢雄の脱皮間隔はこれまでの研究結果と同じ 1 年であったが、第 12 齢は 0.5 年長い 1.5 年と推察された。市場で水ガニと呼ばれる外骨格年齢は 0.51 年以内、硬ガニ(第 11~13 齢)は 0.67~0.99 年以上であることが初めて明らかにされた。

I. 緒言

ズワイガニの年齢は各脱皮齢の脱皮間隔を積算することによって求められてきた¹⁻⁵⁾。しかし、これまでの生物学的手法による脱皮間隔の推定には不確定要素が多分に含まれ、新たな手法による確認の必要性が求められている。

甲殻類は脱皮直後に外骨格を硬化させるために、外界から多量のカルシウム(Ca)を取り込むが、Ca と同じ第 2 族のアルカリ土類金属であるラジウム(Ra)をも間違えて取り込む。そこで、本研究では取り込まれた放射性 Ra が、物理学的法則に従って、時間と共に崩壊して形成されるトリウム(Th)との放射線量比を測定し、ズワイガニの各脱皮齢について、脱皮してから採集された時までの期間を明らかにすることを目的とした。

本研究は 2007 年度から 3 年計画で開始し、2007 年度⁶⁾と 2008 年度⁷⁾では、放射分析に関する基礎研究として、実際に正確な期間が得られるのかを確認すると共に、Ca の挙動に関する研究を行った。その結果、外骨格形成後の期間が 2 年以内であれば、脱皮から採集時までの外骨格年齢を推定できること、及び雌雄の Ca 再利用率を明らかにした。最終年度に当たる 2009 年度は放射分析に関する応用研究として、各脱皮齢の外骨格年齢及び市場で水ガニ(脱皮後の期間が短く、まだ外骨格が十分に硬化していない個体)や硬ガニ(外骨格が十分に硬化した個体)と呼称される銘柄について、脱皮後の期間を明らかにしようとした。

II. 材料と方法

供試材料は表 1 に示した未成体雌雄(第 7~10 齢)と成体雄(第 11~13 齢)である。未成体は独立行政法人水産総合センター日本海区水産研究所の備船(兵庫県水産高等学校の実習船丹州丸)が 2009 年 5 月 15 日に山陰沖で採集した個体で、これらを脱皮齢毎に雌雄に分け、複数個体を混合して 1 検体とした合計 8 検体である(検体番号: 33~40)。成体雄は 2009 年 11 月 20 日に越前町漁業協同組合に水揚げされた甲幅 93.7~112.3mmにある最終脱皮前(脚細)の 5 尾(硬ガニ)(41~45)、甲幅 103.0~104.3mmにある最終脱皮後(脚太)の 3 尾(硬ガニ)(46~48)、及び 2008 年 2 月 12 日に水揚げされた甲幅 136.4mmの 1 尾(49)であるが、基礎研究で用いた甲幅 104.8mmと 117.8mmの二重ガニ(古い外骨格の下に新しい外骨格が形

^{*1} 研究開発部 エネルギー開発グループ、^{*2} 協力研究員、^{*3} 関電プラント

成されている脱皮直前の個体)2尾の新・旧外骨格(22、23、27)と甲幅123.8~144.1mmの水ガニ3尾(28、31、32)をも含めて検討した。これら個体の外骨格を風乾後に80℃で24時間乾燥させて粉末とし、V-1容器(約80ml)に密封した。その後、財団法人若狭湾エネルギー研究センターに設置された古い鉛材で遮蔽、放射性不純物をほとんど含まない、約200年前の古い鉛材を内張りした極低バックグラウンド仕様のブレナ型ゲルマニウム半導体検出器(CANBERRA製EGMP-60-30-R)で、 ^{228}Ac から出てくる γ 線量を測定して、 ^{228}Ra と ^{228}Th 線量を算出した。放射分析による年齢推定の原理については2007年度報告書に記載した⁶⁾。

III. 結果

第7~10齢雌雄のいずれにも二重ガニや水ガニが含まれていたことから、採集日である5月15日は脱皮時期に近い、またはすでに脱皮時期に入っているようにみられた。第7齢雄の測定年齢は1.52年、雌は1.65年、第8齢雄は1.26年、雌は0.97年、第9齢雄は0.82年、雌は0.67年、第10齢雄は0.86年、雌は1.04年であった(表-1、検体番号33~40)。したがって、第7~10齢雌雄の測定年齢は0.67~1.65年の範囲にあり、また、雄では0.82~1.52年、雌では0.67~1.65年の範囲にあった。

成体雄の測定年齢をみると、硬ガニ脚細の第11齢(3尾)(検体番号43~45)は0.67~1.14年、第12齢(2尾)(41、42)は0.77~0.85年の範囲にあった(表1)。硬ガニ脚太の第12齢(3尾)(46~48)は0.85~0.99年の範囲にあり、第13齢(1尾)(49)について2回測定を行い、それぞれ1.19年と1.16年で平均1.18年であった。水ガニの第13齢(3尾)(28、31、32)は0.32~0.51年の範囲にあった。

IV. 考察

これまでの生物学的研究によると、日本海における第7~10齢雌雄の脱皮間隔はいずれも1年と考えられている^{1,2)}。今回のそれら脱皮齢における測定結果は0.67~1.65年の範囲にあり、雌雄の差がほとんどなく、ほぼこれまでの研究結果を追認するものとみられた。しかし、測定結果を詳しくみると、第7齢から第9齢に成長するにつれ、測定年齢が小さくなっていることから、各齢の脱皮時期及び脱皮間隔が僅かに異なっている可能性も推察された。

表-1 放射能測定から推定された未成年雌雄および成体雄の外骨格年齢

検体 番号	個体番号	雌雄 [脱皮齢]	外骨格年齢 (雌雄平均)	入手年月日	備 考
未成年雌雄(各齢共に複数個体からなる)					
33	第7齢	♂	1.52	'09/5/15	CW 24.0～31.7mm
34		♀	1.65 (1.59)		
35	第8齢	♂	1.26		CW 32.9～42.5mm
36		♀	0.97 (1.12)		
37	第9齢	♂	0.82		CW 43.9～56.8mm
38		♀	0.67 (0.75)		
39	第10齢	♂	0.86	CW 58.3～77.7mm	
40		♀	1.04 (0.95)		≥CW 58.3mm未成年体形
成体雄					
41	硬ガニ脚細 1	[12]	0.85±0.13	'09/11/20	CW 111.2mm, BW 480.6g 爪高19.5mm, 爪幅16.2mm
42	硬ガニ脚細 2	[12]	0.77±0.08		CW 112.3mm, BW 492.2g 爪高18.6mm, 爪幅15.8mm
43	硬ガニ脚細 3	[11]	0.82±0.20		CW 99.0mm, BW 383.1g 爪高19.6mm, 爪幅17.7mm
44	硬ガニ脚細 8	[11]	1.14±0.20		CW 98.3mm, BW 339.9g 爪高15.0mm, 爪幅12.4mm
45	硬ガニ脚細 9	[11]	0.67±0.14		CW 93.7mm, BW 292.9g 爪高14.4mm, 爪幅12.0mm
46	硬ガニ脚太 4	[12]	0.85±0.13		CW 104.3mm, BW 427.8g 爪高21.4mm, 爪幅19.0mm
47	硬ガニ脚太 5	[12]	0.99±0.21	'08/2/12	CW 104.0mm, BW 448.3g 爪高19.5mm, 爪幅16.3mm
48	硬ガニ脚太 6	[12]	0.89±0.12		CW 103.0mm, BW 408.5g 爪高21.0mm, 爪幅19.0mm
49	硬ガニM9	[13]	1.19, 1.16 (1.18)	'08/2/12	CW 136.4mm, BW 1117.3g
22	二重ガニM01(新外骨格)	[12]	0.00	'07/12/18	CW 104.8mm, BW 377.9g
23	二重ガニM01(旧外骨格)		1.12, 1.44 (1.28)		越前ガニミュージアム飼育個体
27	二重ガニM21(旧外骨格)	[12]	1.15, 2.06 (1.61)	'08/11/27	CW 117.8mm, BW 626.3g
28	水ガニM05	[13]	0.49, 0.22 (0.36)	'08/2/12	CW 144.1mm, BW 1095.0g
31	水ガニ脚太M81	[13]	0.51	'09/1/29	CW 123.8mm, BW 730.9g 爪高30.0mm, 爪幅27.0mm
32	水ガニ脚太M82	[13]	0.32		CW 134.4mm, BW 4007.1g 爪高31.8mm, 爪幅28.8mm

CW: 甲幅, BW: 体重

これまでの研究で、日本海に生息する雄は第 10 齢以降いずれの脱皮齢でも、脱皮時期は 7～11 月にあり、脱皮間隔は 1 年と考えられている¹⁾。今回測定された成体雄が漁獲された日から、測定された外骨格年齢を遡って、それぞれの個体が脱皮した時期を計算することができる。例えば、検体番号 41 の硬ガニ脚細 (第 12 齢) は 2009 年 11 月 20 日に漁獲され、漁獲された時点での外骨格年齢は 0.85 年 (10.2 ヶ月) であるから、10 ヶ月と 6 日前の 2009 年 1 月 14 日に、第 11 齢から第 12 齢へ脱皮していたことになる。このようにして、今回測定されたすべての成体雄について脱皮した時期を求めると、第 10 齢は 1～3 月 (9 月に脱皮した 1 検体を除く)、第 11 齢は 11～2 月、第 12 齢は 7～12 月となる。したがって、第 12 齢の脱皮時期はこれまでの研究結果と一致するものの、第 10 と 11 齢はほぼ半年ずれていた。また、これらの脱皮時期から計算される脱皮間隔は、第 10 齢が 1～3 月に第 11 齢に脱皮し、第 11 齢が 11～2 月に第 12 齢に脱皮するから、第 11 齢の脱皮間隔の最大幅は 8～14 ヶ月、平均 11 ヶ月でほぼ 1 年と計算され、これまでの研究結果と一致する。一方、第 11 齢が 11～2 月に第 12 齢に脱皮し、第 12 齢が 7～12 月に第 13 齢に脱皮するから、第 12 齢の脱皮間隔の最大幅は 5～13 ヶ月ないしは 17～25 ヶ月である。しかし、第 12 齢二重ガニ (検体番号 23,27) の旧外骨格年齢が 1.28 と 1.61 年であり、1 年を超えていることから、17～25 ヶ月が採用され、平均 21 ヶ月でほぼ 1.5 年と計算される。この脱皮間隔は第 12 齢二重ガニの旧外骨格年齢が 1.28 と 1.61 年であることとも一致するものの、これまでの研究結果より 0.5 年長い。

硬ガニ脚太は最終脱皮を行った個体であるから、その外骨格年齢は数年である可能性もあったが、測定した第 12 齢と 13 齢の外骨格年齢は 0.85～1.18 年であった。これら測定個体は市場に水揚げされていた個体であり、硬ガニとして漁獲されている個体の多くが、高い漁獲強度の影響を受け、脱皮後 1 年前後しか経過していない若い個体であることを示している。また、水ガニ (第 13 齢) の外骨格年齢は 0.32～0.51 年であったことから、脱皮後ほぼ半年以内の個体は水ガニとして取扱われていることが始めて明らかになった。

本研究の課題は、まず各脱皮齢の脱皮間隔から年齢を求め、次いで最終脱皮齢 (雌は第 11 齢、雄は第 13 齢) における生存期間を求め、これらを合算することによってズワイガニの寿命を明らかにすることになった。しかし、各脱皮齢の脱皮間隔を第 7～12 齢まで求めることができたものの、最終脱皮齢の生存期間は、放射分析から求めることが可能な 2 年¹⁾ を大幅に超える 9 年以上であることが標識放流結果⁸⁾ から明らかになったため、求めることができなかった。一方、本研究で求めることができなかった第 1～6 齢までの脱皮間隔は、これまでの生物学的研究で特に不確定要素の多い部分であり、本研究の継続による解析が強く望まれる。

本研究の成果は平成 22 年度日本水産学会春季大会で発表した⁹⁾。

V. 謝辞

本研究に用いた材料の一部は独立行政法人水産総合センター日本海区水産研究所から提供いただいた。関係した方々に感謝申し上げます。

VI. 引用文献

- 1) 伊藤勝千代、日水研報告 22: 81-116 (1970)
- 2) 今 攸、新潟大学理学部付佐渡臨海実験所特別報告 2:1-64 (1980)
- 3) Alunno-Bruscia, M., Sainte-Marie, B., Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55: 459-477 (1998)
- 4) Comeau, M., Conan, G.Y., et al. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55: 262-279 (1998)
- 5) Hebert, M., Benhalima, K. et al. Crustaceana 75: 671-702 (2002)
- 6) 小野真宏、今 攸他、若狭エネ研成果報告(平成 19 年度): 89-93 (2008)
- 7) 小野真宏、今 攸、若狭エネ研成果報告(平成 20 年度): 31-36 (2009)
- 8) 今 攸、本間義治、日水誌 36: 1021-1027 (1970)
- 9) 小野真宏、今 攸他、平成 22 年度日本水産学会春季大会講演要旨集: 51 (2010)

4.5.10. 機械的及び熱的切断による解体粉じん挙動データ取得・調査

Behavior Data Acquisition and Research of the Cutting Dust by the Mechanical and thermal Cutting Method for Decommissioning of Fugen Decommissioning Engineering Center

重田達雄*¹、天田健一*¹、笹瀬雅人*¹、遠藤伸之*²、長友仁郎*³

Tatsuo SHIGETA , Kenichi AMADA , Masato SASASE , Nobuyuki ENDO and Jinro NAGATOMO

(独)日本原子力研究開発機構、新型転換炉原型炉施設(以下、「ふげん」という)の廃止措置においては、放射能レベルが比較的高い原子炉を水中解体することとしており、原子炉解体時における粉じんをいかに抑制していくかという点が、作業安全上重要となる。「ふげん」は、炉心を構成する圧力管(Zr-2.5%Nb 合金)、カランドリア管(Zry-2)にジルコニウム合金が使用されているが、これらの水中切断時における粉じん挙動データに関わる知見が少ないことから、炉心を構成する材料の水中解体を模擬できる水中切断時粉じん挙動評価試験システムを構築し、粉じん挙動データを取得している。

本年度は、昨年度までに水中熱的切断の代表として実施してきたプラズマ切断工法に引き続き、水中機械切断の代表としてアブレイシブウォータージェット(AWJ)切断工法にて、圧力管、カランドリア管、上部圧力管延長管、炭素鋼及びステンレス鋼の平板材を対象とした切断試験を実施するとともに、プラズマ切断工法の追加試験として、ステンレス鋼、炭素鋼、アルミニウムの平板材を対象とした切断試験を実施し、切断時に発生した気中及び水中浮遊物、沈降固形物の重量測定や成分分析を行った。図-1に AWJ 切断試験におけるカランドリア管切断試験の様子、図-2に切断後の圧力管の外観、図-3に切断後の SUS 板(厚み 150mm)の外観を示す。

AWJ 切断試験では、主に次のような成果を得た。

- ① AWJ 切断工法における気中への粉じん移行率は、プラズマ切断工法と比べて 10 分の 1 程度となる。
- ② プラズマ切断工法では、切断速度が気中への粉じん移行率に大きな影響を与える切断条件であったが、AWJ切断工法では、切断速度の影響は小さい。

プラズマ切断追加試験では、主に次のような成果を得た。

- ① ステンレス鋼、炭素鋼の材質の違いによる気中への粉じん移行率の差は、ほとんど見られないが、アルミニウム切断時の気中への粉じん移行率は、ステンレス鋼、炭素鋼に比べて 30 倍程度大きくなる。
- ② 切断条件(切断速度、切断対象の材質、板厚)の違いによる気中浮遊物、水中浮遊物の発生量の増減挙動は、同様の傾向を示す。

これらのデータ取得・調査によって、「ふげん」の炉心を構成する材料の水中切断時における粉じん挙動データを取得するとともに、これまで知見が少なかった圧力管及びカランドリア管の粉じん挙動データを取得することができた。



図-1 水中 AWJ 切断試験直後の様子
(カランドリア管、一部水抜き後、
周囲は“防護板”)



図-2 切断後の
カランドリア管

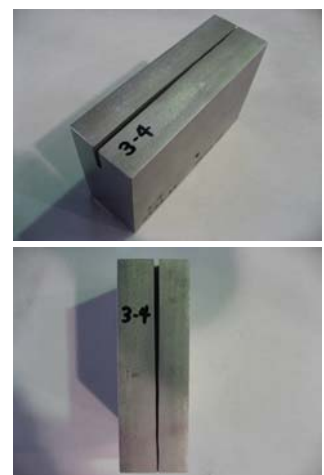


図-3 切断後の
SUS 板(厚み 150mm)

*¹研究開発部・エネルギー開発グループ、*²研究開発部・生物資源グループ、*³企画支援広報部
本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが日本原子力研究開発機構の受託研究として実施した。

4.5.11. FEL等レーザーを用いた原子炉 1 次系の除染

Decontamination of the Primary Water Cooling System at Nuclear Power Plants Using FEL and other Lasers

峰原英介*¹、矢野秀夫*²、下野 俊和*³、鈴木庸次*⁴、加藤正平*⁵

Eisuke J. MINEHARA, Hideo YANO, Toshikazu SHIMONO, Youji SUZUKI and Shohhei KATO

レーザー除染装置を種々のレーザー発振器装置とその周辺機器を用いて実現する可能性について研究開発を行ってきた。フェムト秒自由電子レーザー¹⁾、水噴流導光レーザー、Q スイッチ YAG、ファイバーレーザーなどを用いて行った。レーザーを集光して昇華するために十分なエネルギー面密度にするのでどのレーザーを用いても表面深く、溶融することなく除去が出来て、RI を用いない汚染模擬体での除染率はきわめて高いものが得られた。これを実用とするために、レーザー除染装置を試作開発する計画を進めている。図1は除染の装置の利用状況の概念参考写真で、図 2 はコールドのステンレス素材で上端部は除染試験で剥離された部分である。



図1、小型レーザー除染装置の概念的利用説明図



図2、ステンレス板、上部はレーザー剥離した部分

参考文献

1) E. J. Minehara et al.: Development and Operation of the JAERI superconducting Energy Recovery Linacs, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A557(2006) 16-22.

*¹研究開発部、*²若狭技研工業(株)、*³若狭クエイト(株)、*⁴(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)、*⁵(株)ATOX、本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが若狭技研工業(株)、若狭クエイト(株)、JAEA、ATOXとの共同研究として実施した。

4.5.12. 安価なレーザーを用いた RI 除染の可能性試験調査

Feasibility Study on RI Decontamination Using a Cheap Industrial Laser

峰原英介^{*1}、矢野秀夫^{*2}、下野 俊和^{*3}、鈴木庸次^{*4}、清田史功^{*4}、中島準作^{*4}、加藤正平^{*5}Eisuke J. MINEHARA^{*1}, Hideo YANO^{*2}, Toshikazu SHIMONO^{*3}, Youji SUZUKI^{*4}, Shikou KIYOTA^{*4}, Junsaku NAKAJIMA^{*4} and Shohhei KATO^{*5}

可能性試験調査研究として予算 140 万円を認めていただいて、原子炉内部のCo60 の汚染を安価な産業用レーザーを用いて除染する試みを行った。コールドでの試験¹⁾はすでに行って確認がすんでいたもので、主に原子炉内部でのホット試験に用いるところのコールド試験で用いたガルバノスキャナーの動作を模擬する装置の製作とその試験、さらにJAEA の停止中の新型転換炉ふげん内部でホット試験を行った。試験体は直径40cm程度の配管を50mm四角にきりだしたもので内面の放射性同位元素が付着している面をレーザーで剥離して、除染した。結果は、試みた2サンプルとも0.1Bq/gのクリアランスレベル以下を達成することができた。もともとこの材料はキレート剤で系統除染して、かなり低い汚染度まで表面汚染を下げたものであった。この系統除染は結果的に、クリアランスレベルを実現できず、残留汚染はクリアランスレベルから3倍程度であり、サンプルは保管する予定であった。レーザー除染では、これらを短時間で除去できて、表面汚染度は目標通りクリアランスレベルより1桁弱下げることができた。

図1は、レーザー除染作業を行う場合の周辺セットアップの説明図で3重のビニールハウスで、飛散した放射性同位元素の閉じ込めと捕集を行う。図2は、前回のレーザー除染の作業の様子である。今回は、レーザー装置は自動的に最適位置に移動して効率的に除染作業を進めるように駆動機構が除染作業中に機能していた。

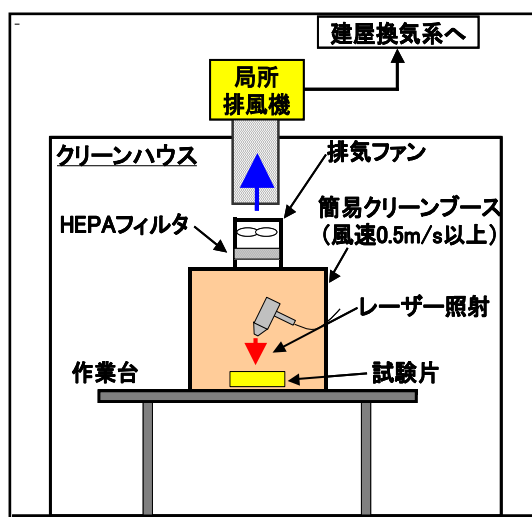


図1、レーザー除染作業の概念図。

図2、以前行われた類似のレーザー除染作業。

可能性試験調査研究では、このホット試験の準備とその実行が中心であったが、これ以外に実用化の筋道を探るために、レーザー駆動源であるLD(レーザーダイオード)の製造設備を調査して、LDの内製化の可能性を確認した。次の目標として、小型のハンディタイプのレーザー除染機と大型の原子炉の蒸気発生器の熱交換機の細管のレーザー除染装置を選定した。今後、レーザー除染装置を実用化していくために、レーザー除染サービスを、レーザー除染機の製造販売の前に行うことを若狭クエイトとATOX 社と合意した。22年度にハンディタイプのレーザー除染機を試作した次の年からフィールド試験を行い、先行して試験的にレーザー除染サービスを開始する。またレーザー光の伝送のために光ファイバーの耐放射線性を確認するために被覆用樹脂の耐放射線性をATOX 社のCo60 γ線照射設備を借りて試験した。PEEKやポリイミドで現在の要求には耐えることが分かった。熱交換機の細管のレーザー除染装置は、すでに実用化されている蒸気発生器の細管の渦電流探傷装置を改良して実現を図る予定である。

参考文献 1) 特許出願、名称「除染装置及び除染方法」、出願番号2009-109062。

^{*1}研究開発部、^{*2}若狭技研工業(株)、^{*3}若狭クエイト(株)、^{*4}(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)、^{*5}(株)ATOX、本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが若狭技研工業(株)、若狭クエイト(株)、JAEA、ATOXとの共同研究として実施した。

4.5.13. 樹脂製球面ミラーを用いた太陽集光器を用いたスターリングエンジン発電機

A Solar Stirling Engine Electricity Generator Energized by Plastic Spherical Mirrors

峰原英介^{*1}、池谷晃^{*2}、竹山和夫^{*2}

Eisuke J. MINEHARA^{*1}、Akira IKETANI^{*2} and Kazuo TAKEYAMA^{*2}

科学啓蒙活動や最先端科学技術のアウトリーチ活動として太陽集光器を用いたスターリングエンジン発電機を試作し、試験した。太陽光によるスターリングエンジン発電は、その効率が 20%-40%程度と単純な太陽電池の効率 10%-20%程度よりは高いと考えられ、より高効率の太陽光(熱)発電が実現すると考えて多くの試みがある。e スター社の通常500W、最大5kW程度まで発電が可能な比較的重い 150kgほどあるスターリングエンジン発電機をレンタルで借用し、光による動作試験を行った¹⁾。図1の試作した 600W集光球面ミラーは今のところ長距離伝送してないので、2kWハロゲンランプで代用して動作試験を行った。動作は安定しており、集光量が十分であれば連続運転できると考えている。図2はスターリングエンジン発電機の写真で、図3は、動作試験中のスターリングエンジン発電機である。諸行事等での若エネ研敷地内でのデモを計画したが、人工光による屋内試験となった。

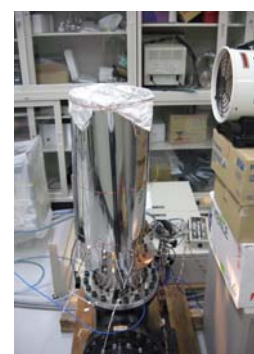
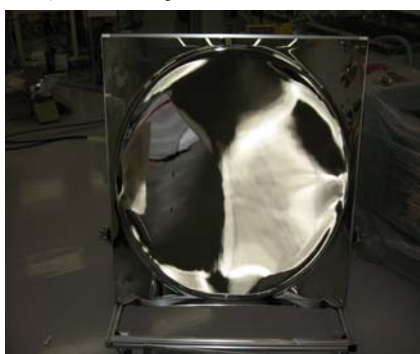


図1、試作した 600W集光球面ミラー。 図2、左は、停止中、右は動作中のスターリングエンジン発電機。

1) 謝辞: スターリングエンジンは工場排熱駆動のものを e スター社の御好意で利用した。ここに御協力にたいして深く感謝いたします。

^{*1}研究開発部、^{*2}(株)ナック・ケイ・エス

本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが(株)ナック・ケイ・エスとの共同研究として実施した。

4.5.14. 太陽集光器と人工光源を併用した植物工場用複合光源

A Hybrid Light Source for Plant Factories Using Solar Collectors and Artificial Light Sources

峰原英介^{*1}

Eisuke J. MINEHARA

太陽集光器と人工光源を併用した植物工場用複合光源は、現在の植物工場の応用範囲を制限している光源のエネルギーコストを大きく引き下げる可能性を持っている。通常の作物に 12 時間程度必要な光を、光ファイバーを経由して太陽光や人工光で供給すると従来の 1/5 から 1/10 のエネルギーで育成することが可能となる。

またこのような照明装置のエネルギーコスト低減のみならず、工場の外部に設置された人工光・太陽光併用の照明光の①作物との熱的絶縁及びこれによって工場内空調負荷の②極小化を行うことが植物工場の空調関連機器投資の省資源・省投資と省エネルギーを実現する。このために人工光と太陽光を併用する光源と光源と熱源の絶縁を行うために光ファイバーで両光源からの光を移送することでこの両方の目的である①大幅な照明コストの削減、②照明光と照明熱の絶縁、③空調負荷極小化を実現する。

植物工場の多量に消費される電力は、照明電力とこれに伴い発生する熱を外部に捨てるための空調(冷房)である。外に捨てる熱量の 25% から 30% 程度が、捨てるために使用する空調機の冷凍機の電力である。照明に伴い発生する熱量は、植物工場内で照明を置けばそこで発生するが、宇宙ステーションでの植物工場のようにランプを植物工場外に移し、熱絶縁した窓を通して光を送ると、赤外線を含めた光以外の発熱量はほぼ 0 となる。ここでは安価なファイバーでこの熱絶縁と光伝送を行うので、空調エネルギーは極小とできる。また昼間の太陽光をファイバーで移送することによって照明電力の使用時間は条件のいい場所では大幅に減らすことができる。空調設備も最小のもので環境管理が可能となる。このように太陽集光器と人工光源を併用した植物工場用複合光源は、大きな省資源或いは省投資、更に省エネルギー効果がある。これは、名称「植物工場照明装置」として特許出願している。

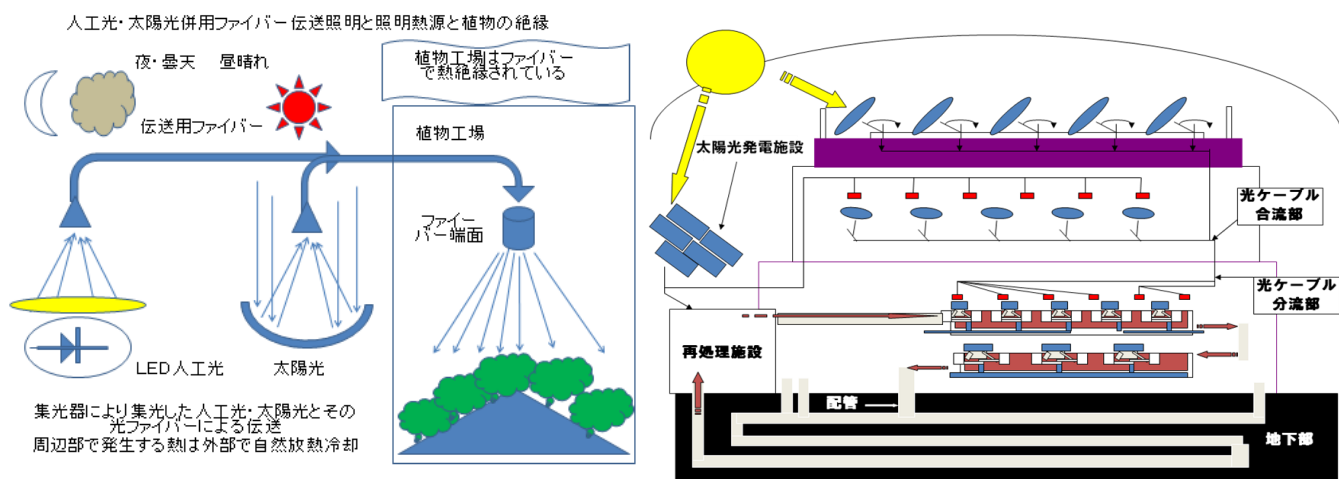


図1、太陽光と人工光を併用した植物工場用複合光源。 図2、太陽集光器と人工光源を併用した植物工場。

参考文献

[1] 特許出願:植物工場照明装置、出願番号2010-85680.

^{*1}研究開発部

本研究は、(財)若狭湾エネルギー研究センターが三菱電線工業(株)、(株)NAC-KSとの協力研究として実施した。

4. 6. 産業・技術・研究支援事業

(財)若狭湾エネルギー研究センターでは、世界に開かれた拠点として研究者・技術者や県民との交流を推進するとともに、地域に根ざした研究機関として地域産業の振興を目指し、地域の企業に対する支援の充実・強化を図ってきた。

さらに、平成17年7月には、「エネルギー研究開発拠点化推進組織」を設置し、福井県が策定した「エネルギー研究開発拠点化計画」を推進するエンジン役として、「研究開発機能の強化」、「人材の育成・交流」、「産業の創出・育成」などの施策にかかる事業を展開し、これまで以上に、当センターが地域の恒久的な発展に貢献するよう取り組んできたところである。

以下に、平成21年度において当センターが実施した産業・技術・研究支援等にかかる事業について、その概要を示す。

1) 県内企業の技術者の技能向上に向けた技術研修の実施(資料1参照)

「原子力関連業務従事者研修」として、原子力産業への参入や技術力向上を目指す県内企業の経営者を対象にトップセミナーを開催したほか、原子力関連業務にかかる産業人材を育成するため、原子力施設の設備保守の入門・基礎等を内容とした一般研修や技術の取得、技術レベルの向上を目的とした専門研修を実施するとともに、研修受講企業を対象とした視察研修や県内原子力施設の元請企業との情報交換会を実施した。また、「原子力関連業務人材育成実務研修」として、資格取得に向けた実務研修等を実施した。さらに、原子力発電所における設備の信頼性の向上、安全・安心の確保に資することを目的に、従事者の技能レベルを客観的に評価する「福井県内原子力発電所における技量認定制度」に基づき、「あと施工アンカー作業」、「配管締付継手作業」、「電線結線・端末処理」の認定試験を実施した。

2) 原子力・エネルギー教育の充実(資料2参照)

県内をはじめ関西・中京圏等の大学院生等を対象に、原子力への理解を深め、将来を担う原子力技術者を育成するとともに、大学間の連携を促進するため、「敦賀『原子力』夏の大学」を福井大学、(独)日本原子力研究開発機構、(財)若狭湾エネルギー研究センターの3者主催で開催し、さらに参加学生の中から優秀な学生7名を選抜し、海外研修(仏国)を実施した。

また、高校生を対象に、エネルギーや科学に関する知識を普及し、関心と理解を深めるため、科学実験研修等を実施した。

また、企業等のセンター施設の利用促進を図るとともに、できるだけ多くの方々に施設や財団の事業活動を認知、理解していただくために、随時、施設見学等を行った。

3) 産学官連携による技術移転体制の構築(資料3参照)

「エネルギー研究開発拠点化計画」、「最先端技術のメッカづくり基本指針」における産業の創出・育成を推進するため、平成17年度から「ふくい未来技術創造ネットワーク推進事業」を実施しているが、産学官連携体制を強化するとともに、研究開発段階から販路開拓までを対象に企業の事業化を促進するため、平成20年7月に「ふくい未来技術創造ネットワーク推進協議会」を設置し、「放射線利用・材料開発」、「環境適合性材料・エネルギー開発」、「保守技術・検査技術開発」、「海洋資源・生物資源活用」の4研究会を立ち上げている。

これらの研究会活動のほか、県内企業と原子力プラントメーカーとの情報交換会、技術展示会への出展、セミナーの開催等を通じて、県内外の企業、大学、公設試験研究機関等からなる産学官連携ネットワークを強化するとともに、参加企業の新事業創出、販路開拓を支援した。

また、戦略的基盤技術高度化支援事業「高品質固体レーザーによる遠隔切断技術の開発」（平成 18 年 12 月～平成 21 年 11 月）、都市エリア産学官連携促進事業 ふくい若狭エリア「原子力・エネルギー関連技術の活用による新産業の創出」（平成 20 年 7 月～）、低炭素社会に向けた技術シーズ発掘・社会システム実証モデル事業（平成 21 年 3 月～平成 22 年 31 月）について、それぞれ事業管理者、中核機関、調整役機関として取り組んだ。

4) 技術相談や研修会による地域産業との技術連携・支援(資料4参照)

地域の企業との連携を促進し、地域産業の活性化を図るため、当センターの高度な科学機器の取扱いについての研修会を開催するとともに、これらの機器を用いた分析技術の相談や指導等を行い、地域企業の事業化を積極的に支援した。

5) 国内外の研究者・技術者等との交流(資料5参照)

センターの研究開発の高度化を図るため、関係する研究者等を招聘して研究情報の交換を行うとともに、国内外の関係機関との協力関係を構築し、技術交流や研究協力を行うことにより、研究者・技術者との交流拠点の形成に取り組んだ。

6) 情報発信および広報活動(資料6参照)

マスメディアによる放送・報道、さらにホームページへの掲載等を通じ、賛助会員や来館者をはじめ、広く県民の方々にセンターの活動内容にかかる情報を提供し、センターの事業運営に対する理解と協力を得るように取り組んだ。

県内企業の技術者の技能向上に向けた技術研修の実施

○ 原子力関連業務従事者研修

分 類		研 修 名	受講者数	回数	備 考
トップ セミナー		企業経営者等の原子力関連業務への理解促進	108名	3回	福井、敦賀、高浜で 各1回
		情報交換会	39名	1回	福井
一 般	入門研修	原子力発電所全般に関する基本的な知識・技術の習得	25名	2回	福井、敦賀で各1回
	基礎研修	放射線取扱基礎	23名	2回	〃
研		原子力施設品質保証基礎	26名	2回	〃
		原子力施設内作業に関する関連法令	20名	2回	〃
修		原子力施設電気基礎（エレクトロニクス基礎）	9名	1回	敦賀
		原子力施設電気基礎（測定技術）	7名	1回	敦賀
		原子力施設電気基礎（シークス制御）	28名	3回	福井2回、敦賀1回
		原子力施設電気基礎（シークサープロgramming基礎）	15名	2回	福井で2回
		原子力施設機械基礎（仕上技能基礎）	4名	1回	敦賀
		原子力施設機械基礎（機械組立技能基礎）	13名	2回	福井、敦賀で各1回
		原子力施設機械基礎（伝動装置・簡易診断技術）	12名	2回	〃
		原子力施設機械基礎（油圧装置基礎）	8名	1回	敦賀
		原子力施設非破壊検査基礎	10名	1回	〃
	視察研修	中部電力(株)浜岡発電所他	15名	1回	10/6～7
		原子力施設非破壊検査（PD2-基礎）	25名	3回	敦賀2回、高浜1回
		原子力施設低圧モータ分解点検	3名	1回	高浜
		原子力施設低圧しゃ断器分解点検	3名	1回	〃
		原子力施設体感研修	15名	3回	〃
		原子力施設現地計器点検（検出器・伝送器）	3名	1回	〃
		原子力施設現地計器点検（制御器・制御弁）	3名	1回	〃
		原子力施設一般弁分解組立	8名	2回	〃
		原子力施設横型ポンプ分解点検	4名	1回	〃
		原子力施設縦型ポンプ分解点検	3名	1回	〃
		原子力施設の技術基準に基づく溶接施工管理	5名	1回	敦賀
		原子力施設非破壊検査（UT1-基礎）	16名	3回	敦賀2回、高浜1回
		原子力施設非破壊検査（UM1-基礎）	2名	1回	高浜
		原子力施設回転機器（センターリング・バランシング）	3名	1回	〃
		原子力施設低圧しゃ断器保護装置	4名	1回	〃
		原子力施設非破壊検査（UT2-基礎）	14名	3回	敦賀2回、高浜1回
		高速増殖炉基礎講座	4名	1回	敦賀
		「もんじゅ」でのOJT	2名	1回	〃
		廃止措置基礎講座	4名	1回	福井
		廃止措置専門講座	2名	1回	敦賀
		「ふげん」でのOJT	2名	1回	〃
		放射線管理技術Ⅰ	4名	1回	〃
		原子力施設品質マネジメントシステム（基礎）	9名	1回	福井
		放射線管理技術Ⅱ	3名	1回	敦賀
		原子力施設品質マネジメントシステム（システム構築）	11名	2回	福井、敦賀で各1回
		原子力施設品質マネジメントシステム （トラブル分析・対策検討）	5名	2回	福井、敦賀で各1回
		原子力施設工事・作業管理	7名	1回	敦賀
合 計			526名	64回	

○ 原子力関連業務人材育成実務研修

分 類	研 修 名	受講者数	回数	備 考
実務研修	非破壊試験技術者(PD2-筆記)受験講座	26名	3回	
	非破壊試験技術者(PD2-実技)受験講座	12名	2回	
	非破壊試験技術者(UT1-筆記)受験講座	12名	2回	
	非破壊試験技術者(UT1-実技)受験講座	9名	2回	
	非破壊試験技術者(UT2-筆記)受験講座	3名	2回	
	非破壊試験技術者(UT2-実技)受験講座	7名	2回	
	2級電気工事施工管理技士(学科・実地)受験講座	7名	1回	
	1級電気工事施工管理技士(学科)受験講座	2名	1回	
	1級電気工事施工管理技士(実地)受験講座	8名	1回	
	2級管工事施工管理技士(学科・実地)受験講座	5名	1回	
	1級管工事施工管理技士(学科)受験講座	10名	1回	
	1級管工事施工管理技士(実地)受験講座	8名	1回	
	第2種電気工事士(筆記)受験講座	8名	1回	
	第2種電気工事士(技能)受験講座	10名	1回	
	第1種電気工事士(筆記)受験講座	8名	1回	
	第1種電気工事士(技能)受験講座	5名	1回	
	プルサーマル(MOX燃料)研修	19名	2回	
	第2種放射線取扱主任者受験講座	20名	1回	
	第1種放射線取扱主任者受験講座	5名	1回	
	原子力施設モックアップ訓練	232名	22回	
OJT研修		3名	3回	
技量認定	技量認定講習・試験「あと施工アンカー作業」	124名	6回	
	技量認定講習・試験「配管締付継手作業」	104名	6回	
	技量認定講習・試験「電線結線・端末処理」	44名	4回	
合 計		691名	68回	

○ 技量認定試験認定者

研 修 名	認定者数	備 考
技量認定講習・試験「あと施工アンカー作業」	116名	
技量認定講習・試験「配管締付継手作業」	80名	
技量認定講習・試験「電線結線・端末処理」	32名	
合 計	228名	

○ 非破壊検査技術研修

分 類	研修名	受講者数	講師等
PD2	溶剤除去性浸透探傷検査レベル2 基礎講座	10名	非破壊検査(株)
合 計		10名	

[原子力関連業務従事者研修]

トップセミナー



電気基礎（シーケンサープログラミング基礎）



UT 2（基礎）



[原子力関連業務人材育成実務研修]

技量認定講習・試験



モックアップ訓練

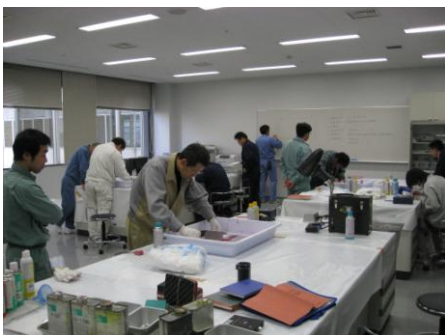


OJT



[原子力関連業務従事者研修]

溶剤除去性浸透探傷検査レベル 2 (PD-2)



原子力・エネルギー教育の充実

○ 「敦賀『原子力』夏の大学」の開催

月 日	内 容	参加者数・場所
8/24(月) ～28(金)	開講式 理解度テスト（研修前、研修後） 講義 ・軽水炉核燃料サイクル（プルサーマル）の現況と今後の見通し ・軽水炉の安全（安全の仕組み）及び劣化事象の解明と対策と軽水炉の社会的受容 -世論の継続調査から- ・仏国におけるナトリウム技術開発に係る成果と今後の課題 ・高速炉概論 実習 ・高速増殖炉運転訓練シミュレータ体験、ナトリウム取扱体験、供用期間中検査技術（ISI）体験等 見学 ・日本原電 敦賀 3、4 号機建設準備工事現場及び PR 館 ・若狭湾エネルギー研究センター ・原子炉廃止措置研究開発センター「ふげん」、高速増殖原型炉「もんじゅ」 ・関西電力 美浜発電所及び PR 館 討論会 ・グループ別にテーマを決めて英語討論 ・グループ別に分かれ、原子力全般事項について「もんじゅ」研究・技術者と質疑応答及び議論 一般公開講座 ・大学からの「もんじゅ」への期待 福井大学附属国際原子力工学研究所 竹田所長 ・「もんじゅ」の運転再開と今後の利活用計画 (独) 日本原子力研究開発機構 FBR プラント工学研究センター 一宮センター長 ・仏国高速増殖原型炉「PHENIX」の運転成果と今後の FBR 開発戦略 仏国原子力庁 CEA サクレー本部原子力普及部長 Mr.J.Guidiez ・原子力開発の動向とプラントメーカーの取組み (株) 東芝電力システム社 原子力事業部 久保田技監 ・米国新政権下における高速炉開発戦略の動向とナトリウム技術開発の進捗状況 米国サンディア国立研究所次世代原子力エネルギープログラム シニアマネージャー Dr. J. Kelly	205名 ホール他
12/5(土) ～13(日)	【海外研修】 基礎講座 ・原子炉物理概要 実習 ・教育用原子炉を使用した実習 ・PWR シミュレータ実習 見学 ・高速増殖炉フェニックス発電所 ・MOX燃料工場	学生7名 随行者3名 INSTN サクレーセンター他

敦賀「原子力」夏の大学



海外研修



○小中高校生への科学知識の普及

日 時	交 流 先 ・ 内 容	参加数
8/9 (水) 9:30～17:30	科学実験研修：武生高校1年生 ① 環境水等に含まれる微量金属分析 ② 熱－電気エネルギー相互交換 ③ 電子顕微鏡による織物組織の観察 ④ 宇宙線の速度測定 ⑤ アルデヒド脱水素酵素の遺伝子型判定 ⑥ 放射線と物質の相互関係 ⑦ 金および銀の蒸発と薄膜生成実験 ⑧ 細胞分裂像の観察	38名
11/4(水) 9:30～17:30	科学実験研修：高志高校2年生 ① 環境水等に含まれる微量金属分析 ② 熱－電気エネルギー相互交換 ③ 電子顕微鏡による織物組織の観察 ④ 宇宙線の速度測定 ⑤ アルデヒド脱水素酵素の遺伝子型判定 ⑥ 放射線と物質の相互関係 ⑦ 金および銀の蒸発と薄膜生成実験 ⑧ 細胞分裂像の観察	37名

スーパーサイエンススクール 科学実験研修

(微量金属分析)



(金および銀の蒸発と薄膜生成実験)



○施設見学等

	月 日	時 間	団体名	見学者数
1	4月 2日(木)	13:30～15:30	アメリカの方と武生ロータリークラブ会員	12名
2	4月 3日(金)	16:00～17:00	近畿経済産業局 資源エネルギー環境部 電力事業課	2名
3	4月 9日(木)	16:00～17:00	日本原子力発電(株)研究開発室	3名
4	4月17日(金)	10:00～11:30	福井県電源地域振興課	2名
5	4月20日(月)	12:40～14:40	エネ庁 電力ガス事業部	5名
6	4月20日(月)	15:50～16:50	薩摩川内市の未来・展望を語る会	13名
7	4月21日(火)	10:30～11:30	福井工業大学附属福井高等学校 1年生	51名
8	4月23日(木)	10:30～11:30	福井工業大学附属福井高等学校 1年生	62名
9	5月14日(木)	15:00～16:00	(株)ニュージェック国際事業本部	7名
10	5月16日(土)	14:30～16:00	福井県立大学地域経済研究所	15名
11	5月19日(火)	13:00～16:00	戸田工業株式会社	4名
12	5月21日(木)	13:00～16:00	福井県立敦賀高校 理科教諭	1名
13	5月21日(木)	13:00～17:00	福井大学大学院工学研究科学生・教員	7名
14	5月28日(木)	10:30～11:30	(株)弘光舎	3名
15	6月 5日(金)	13:00～14:30	鯖江市高年大学生	42名
16	6月 9日(火)	15:30～16:20	福井県内小中学校教員	20名
17	6月18日(木)	10:00～12:00	東コード(株)	1名
18	6月18日(木)	14:00～16:00	JICA研修生	10名
19	6月19日(金)	9:30～11:00	福井大学医学部学生	20名
20	6月23日(火)	9:00～10:30	日本銀行福井事務所 所長他	3名
21	6月25日(木)	11:00～12:00	中京区赤十字奉仕団	41名
22	6月25日(木)	9:00～10:30	FNCA人材養成プロジェクト(豪・中・韓・比…海外の方)	10名
23	7月 3日(金)	13:30～15:30	中部ブロック各県婦人団体代表	50名
24	7月 7日(火)	13:50～16:10	美浜東小学校 6年生	18名
25	7月10日(金)	14:45～16:00	地方新聞エネルギー研究会	25名
26	7月14日(火)	14:55～15:45	福井市社中学校 3年生(社中にて出張講義)	25名
27	7月16日(木)	13:30～14:30	(株)エネルギーレビューセンター	4名
28	7月21日(火)	14:00～15:00	(独)国立環境研究所 研究員	2名
29	7月28日(火)	15:00～15:30	ほくでん夏休み科学教室	60名
30	7月29日(水)	13:30～15:00	福井県立敦賀高校 生徒SPP実習	15名
31	7月29日(水)	10:00～12:00	滋賀県立彦根東高校1・2年生徒(SSHIによる施設訪問研修)	28名
32	7月30日(木)	10:00～12:00	JAEA 埋設事業推進センター	2名
33	8月 4日(火)	11:00～15:30	富山・石川・福井県内の教職員、学生	40名
34	8月 7日(金)	13:00～14:30	静岡県内の教職員、支部会員企業	32名
35	8月 7日(金)	13:30～14:40	溶接・溶合プロセス研究会メンバー	15名

	月 日	時 間	団体名	見学者数
36	8月10日(月)	9:00～17:00	福井市社中学校 3年生(体験学習)	25名
37	8月12日(水)	15:00～15:30	ほくでん夏休み科学教室	60名
38	8月21日(金)	15:45～16:45	関西電力(株)研究開発室	7名
39	8月24日(月)	14:00～15:30	福井工業大学附属福井高等学校	15名
40	8月25日(火)	9:00～11:00	三重県小中学校教員	21名
41	8月26日(水)	9:30～11:30	青森県 原子力立地対策課	3名
42	8月26日(水)	13:00～15:00	新潟工科大学 地域産業交流センター	3名
43	8月28日(金)	14:55～15:45	敦賀「原子力」夏の大学 参加者	40名
44	9月 2日(水)	10:00～11:00	関西電力(株)企画室	3名
45	9月 3日(木)	9:30～10:30	九州電力(株) 土木部 技術戦略グループ	4名
46	9月 3日(木)	13:30～15:30	サウジアラビア大使館	10名
47	9月 3日(木)	14:00～16:00	東海村企画政策部 企画調整	9名
48	9月 4日(金)	9:00～10:30	敦賀市会議員 前川氏	1名
49	9月10日(木)	13:00～14:30	アフラック富山支社 代理店・社員	20名
50	9月15日(火)	14:30～16:00	小浜男女協同参画ネットワーク	20名
51	9月18日(金)	10:00～12:00	日本鉄鋼協会 環境エネルギー工学部会 グリーンエネルギーフォーラム	31名
52	10月 2日(金)	13:00～15:00	(株)アイティーオー	1名
53	10月 5日(月)	12:00～15:15	福井県立若狭東高等学校 産業技術科	34名
54	10月 7日(水)	9:00～10:00	富山県議会議員	14名
55	10月15日(木)	13:00～15:00	NPO WARP-LEE NETエレの会	30名
56	10月16日(金)	15:15～16:45	若狭町社会福祉協議会	41名
57	10月19日(月)	13:15～15:00	日東シンコー(株)開発統括部	2名
58	10月29日(木)	16:30～17:45	福井県知事・石川県知事	5名
59	11月 2日(月)	9:30～12:00	敦賀工業・大野東・若狭東高校の 原子力関連企業への就職内定者	30名
60	11月 9日(月)	10:30～12:00	福井市旅館業協同組合	10名
61	11月 9日(月)	13:10～14:10	福井農業農村整備事業促進協議会	40名
62	11月10日(火)	10:30～11:15	敦賀市立松陵中学校1年生 体験学習	5名
63	11月13日(金)	10:00～11:00	近畿経済産業局	2名
64	11月13日(金)	14:00～15:30	海外研修生(H21年度国際原子力講師育成事業)	12名
65	11月13日(金)	14:00～15:00	電力各社立地部長クラス	20名
66	11月13日(金)	14:00～16:00	アフラック和歌山	22名
67	11月17日(火)	13:30～14:30	あずさ監査法人	7名
68	11月17日(火)	14:00～16:00	大阪泉佐野市・熊取の一般市民	40名
69	11月17日(火)	16:00～17:00	(財)フォーリンプレスセンター	5名
70	11月22日(日)	13:00～14:00	原子力モニター・福井	5名

	月 日	時 間	団体名	見学者数
71	11月24日(火)	13:00～14:30	京都 相楽郡連合婦人会	45名
72	11月25日(水)	13:00～14:30	奈良県香芝市中央公民館成人講座	50名
73	11月25日(水)	15:00～16:00	愛知工業大学 1年生	100名
74	11月26日(木)	14:00～15:30	松江市一般住民	33名
75	11月26日(木)	11:00～12:00	フジテレビ 山本(取材調査)	1名
76	11月30日(月)	11:25～12:10	日本原価計算研究学会 関西支部	50名
77	11月30日(月)	13:00～14:30	敦賀気比高等学校	50名
78	12月 1日(火)	13:30～14:30	日本生物環境工学会	28名
79	12月 3日(木)	9:30～10:30	愛知県商工会連合会東三河支部	14名
80	12月 8日(火)	11:00～12:00	フジテレビ 山本(取材調査)	1名
81	12月11日(金)	10:00～11:00	原子力機構 埋設事業推進センター	2名
82	12月11日(金)	13:00～15:00	関西電力系列企業、大学教授等	11名
83	12月14日(月)	14:00～15:30	太平洋セメント株式会社 技術開発センター 環境技術チーム	2名
84	12月18日(金)	13:30～17:00	JEITA 社団法人電子情報技術産業協会	10名
85	1月15日(金)	13:45～16:00	(独)物資・材料研究機構研究員等	4名
86	1月22日(金)	10:00～11:00	(株)原子力発電訓練センター取締役 訓練部長他	2名
87	1月22日(金)	11:00～12:00	茨城県大洗町生活環境課	4名
88	1月22日(金)	15:40～16:55	福井経済同友会	28名
89	1月27日(水)	15:00～16:00	(財)フォーリンプレスセンター・福井県観光振興課	3名
90	1月29日(金)	11:45～13:00	資源エネルギー庁エネルギー環境担当審議官他	3名
91	2月 5日(金)	15:30～17:00	海外研修生(H21 年度国際原子力講師育成事業)	12名
92	2月19日(金)	13:30～15:30	北方町婦人会	26名
93	3月 4日(木)	15:00～16:00	(財)フォーリンプレスセンター・(外国人記者、通訳、福井県)	25名
94	3月 5日(金)	13:30～14:30	資源エネルギー庁エネルギー総合政策課 補佐等	2名
95	3月13日(土)	9:30～10:30	APEC 加盟国在大阪総領事等	24名
96	3月18日(木)	10:30～11:20	駐日タイ大使	4名

○施設一般公開

日 時	内 容	参加者数
8/22 (土) 9:00～17:00	エネ研てんこもり 9 ① エネ研体験クルー ・施設見学 ・事業・研究内容紹介コーナー ・顕微鏡観察 ② 科学実験ショー ・サイエンス実験ショー（平井先生、平田先生） ③ 体験教室 ・ボトルフラワー工作 ・スライムづくり ・太陽炉「はんたか」実演 ・ソーラー工作 ・ペーパークラフト工作 ④ 地域交流コーナー ・カンテン印刷 ⑤ お楽しみイベント ・品種改良花卉の配布 ・バルーンアート ・エネ研特製ストラップ作り ・ゲームコーナー ・電気自動車試乗 ・模擬店	約1300名

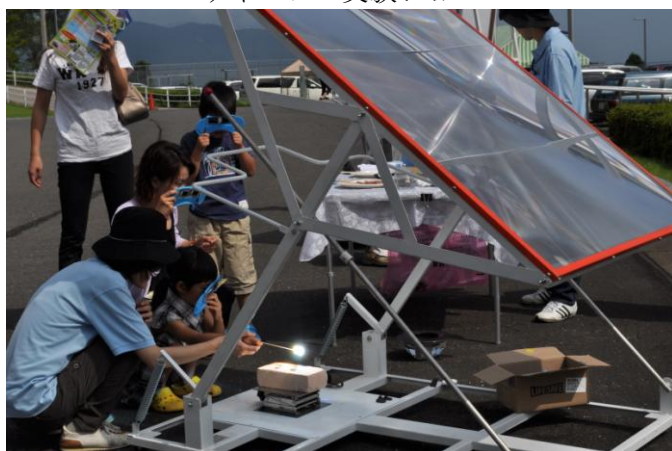
エネ研てんこもり10



サイエンス実験ショー



ボトルフラワー工作



太陽炉「はんたか」実演



顕微鏡観察

産学官連携による技術移転体制の構築

(1) ふくい未来技術創造ネットワーク推進事業

○ネットワーク形成事業

月/日(曜日)	協議会	参加者数
◇ふくい未来技術創造ネットワーク推進協議会 （平成 20 年 7 月 7 日設置） 原子力・エネルギー関連技術等を活用し、福井県における新たな産業クラスター形成を目指すため、本県を中心とする多様な企業群と大学、公設試験研究機関等の連携の下、本協議会を設けることにより、県内企業の事業化促進や販路開拓のための産学官連携体制を整え、産業創出に向けての取組み促進を図るため、次の事業を行う。 ・産学官連携による研究会活動 ・新商品開発、新事業創出に係る研究開発支援 ・新商品、新事業に係る販路開拓支援 ・新商品開発、新事業創出に係る情報提供 会長：堀 照夫（福井大学 副学長） 会員：企業／130 社、大学等／10 機関、研究機関／15 機関（平成 22 年 3 月末現在）		
7/29（水）	総会 ・平成 21 年度事業計画	約 80 名



ふくい未来技術創造ネットワーク推進協議会 総会

○新事業創出支援事業

月/日(曜日)	研究会	参加者数
◇放射線利用・材料開発研究会 （平成 20 年 8 月 18 日設置） 活動方針：放射線等を利用した高分子・繊維材料への耐久性、染色性、吸着性等の機能付加による商品開発、事業化に向け、技術課題等の解決を図る。 会長：堀 照夫（福井大学 副学長） 会員：企業／25 社、大学等／4 機関、研究機関／3 機関（平成 22 年 3 月末現在）		
8/24（月）	第 1 回 ・平成 21 年度の研究会活動について ・産業界におけるガンマ線利用 ・可能性試験調査研究について 他	38 名
3/4（木）	第 2 回 ・オリゴグルコサミン-L の開発について ・可能性試験調査研究成果報告 他	29 名

◇環境適合性材料・エネルギー開発研究会 （平成20年8月22日設置） 活動方針：生分解性を有する材料、未利用バイオマスエネルギー等の利用による商品開発、事業化に向け、技術課題等の解決を図る。 会長：畠山 兵衛（福井工業大学 教授） 会員：企業／17社、大学等／4機関、研究機関／4機関（平成22年3月末現在）		
8/27（木）	第1回 ・平成21年度の研究会活動について ・リグニンの利用について ・可能性試験調査研究について 他	23名
3/2（火）	第2回 ・リグニンの利用について ・可能性試験調査研究成果報告 他	18名
◇保守技術・検査技術開発研究会 （平成20年8月21日設置） 活動方針：保守・補修、検査・モニタリング等に関わる技術を利用した商品開発、事業化に向け、技術課題等の解決を図る。 会長：服部 修次（福井大学 教授） 会員：企業／26社、大学等／3機関、研究機関／5機関（平成22年3月末現在）		
9/7（月）	第1回 ・平成21年度の研究会活動について ・レーザーを利用した保守、補修、モニタリング技術について ・可能性試験調査研究について ・ものづくり製品開発等支援補助金「試作開発等支援事業」採択事業の紹介	29名
3/1（月）	第2回 ・東海発電所の廃止措置について ・可能性試験調査研究成果報告 他	33名
◇海洋資源・生物資源活用研究会 （平成20年8月25日設置） 活動方針：海洋資源・生物資源の利活用技術と原子力発電所資源の利用による商品開発、事業化に向け、技術課題等の解決を図る。 会長：広石 伸互（福井県立大学 教授） 会員：企業／16社、大学等／4機関、研究機関／5機関（平成22年3月末現在）		
9/29（火）	第1回 ・平成21年度の研究会活動について ・海洋未利用資源生物に含まれる生理活性物質 ・可能性試験調査研究について	24名
3/11（木）	第2回 ・ホンダワラ科海藻の増養殖技術について ・可能性試験調査研究成果報告 他	27名

◇可能性試験調査研究事業 市場拡大が見込まれる分野における事業化、新商品開発等を促進するため、県内企業を含む産学、産官等のグループにて取り組む可能性試験調査研究への助成制度 募集期間：7/8（水）～7/31（金）		
	・電子線照射によるポリプロピレン／気相成長炭素繊維系複合体成形物の高強度化 ・電子線グラフト重合法によるアラミド繊維の染色性改善 ・10MeV 電子線照射による抗菌加工技術及び抗菌繊維製造方法に関する研究 ・草本系バイオマスのアルカリ処理等低コストエタノール化技術の調査研究 ・廃棄されるアセテート（酢酸セルロース）の再利用方法の実用化開発研究 ・石英光ファイバー伝送を用いたレーザー除染装置の研究調査 ・電場指紋照合法を用いた配管減肉オンラインモニタリングの適応研究 ・海藻由来多糖の微生物による分解及び大型種苗を用いた藻場造成手法確立 ・超低温冷凍技術による若狭産活絞め魚を原料とした超高品位加工品の創製	9件

◇嶺南地域新産業創出モデル事業補助金 嶺南地域の企業等が将来の製品化、事業化を目指し、原子力・エネルギー関連技術を活用して行う研究開発を支援する補助制度 募集期間：4/20（月）～5/18（月）		
	基礎研究枠 ・現場作業記録支援装置の開発	1 件
	実用化研究枠 ・実用化に向けた自動粒子計数器の開発 ・鉄骨建物基礎の SRC 構造化 ・幅変式伸縮全天候型膜体上屋実用化の研究	3 件

○販路開拓支援事業

月/日(曜日)	概 要
◇原子力プラントメーカーとの情報交換会 原子力産業への参入を目指す福井県内の企業のために、原子力プラントメーカーとの情報交換会を実施	
12/2（水）	[原子力プラントメーカー] ㈱東芝 [県内企業] 25 社 [実施方法] ㈱東芝と県内企業が個別に面談。各企業が自社製品、技術力等について提案し、原子力プラント設備・機器、その周辺設備・汎用機器等への適用可能性等について㈱東芝と情報交換 [開催場所] 福井県若狭湾エネルギー研究センター

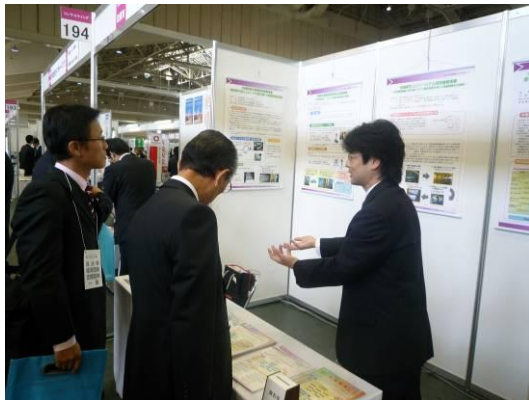
月/日(曜日)	技術展示会	入場者総数
◇技術展示会への出展 研究会活動等を通じ開発された技術・製品、産学官共同研究の成果等の展示		
6/20（土） ～21（日）	産学官連携推進会議 京都国際会館（京都市）	約 4,500 名
10/22(木) ～23(金)	北陸技術交流テクノフェア 福井県産業会館（福井市）	約 19,000 名
10/23(金)	しんきんビジネスフェア 2009 石川県産業会館（金沢市）	約 8,600 名
11/12(木)	F I T ネット商談会 福井県産業会館（福井市）	約 2,100 名
12/5(土) ～6(日)	嶺南エネルギー技術フェア きらめきみなと館（敦賀市）	約 4,600 名



産学官連携推進会議



北陸技術交流テクノフェア



しんきんビジネスフェア



F I T ネット商談会



嶺南エネルギー技術フェア



技術交流会

○情報提供事業

月/日(曜日)	セミナー、技術シーズ発表会	参加者数
◇セミナー、技術シーズ発表会等の開催 企業等を対象としたセミナー、県内大学等による研究成果の発表会等を開催		
7/29 (水)	技術交流会 ・都市エリア産学官連携促進事業（ふくい若狭エリア）との技術交流会	約 90 名
9/4 (金)	未来技術創造セミナー（ふくい元気企業フェア） ・講演「自動車製造を支える協力工場の生産技術」	約 80 名
11/10 (火)	未来技術創造セミナー ・講演「新しいレーザ活用法と加工技術の紹介」	約 80 名
12/9 (水)	技術シーズ発表会 ・福井大学、若狭湾エネルギー研究センター等の共同研究を中心に成果報告	約 80 名

○ 都市エリア産学官連携促進事業(ふくい若狭エリア)の運営

月/日(曜日)	
◇都市エリア産学官連携促進事業(ふくい若狭エリア)(平成20年7月1日事業着手)	
核となる研究機関 財団法人若狭湾エネルギー研究センター、国立大学法人福井大学	
その他参画研究機関 公立大学法人福井県立大学、学校法人金井学園福井工業大学、独立行政法人日本原子力研究開発機構、福井県衛生環境研究センター、福井県工業技術センター、福井県農業試験場	
参画企業 アイテック株式会社、ウラセ株式会社、株式会社エル・ローズ、関西電力株式会社、株式会社共和製作所、清川メッキ工業株式会社、株式会社原子力安全システム研究所、株式会社寿傳、ナック・ケイ・エス株式会社、日華化学株式会社、日本原子力発電株式会社、福井資源化工株式会社、福井シード株式会社、株式会社フクセン、株式会社ホクコン、北陸電力株式会社、北陸ヒーティング株式会社、有限会社松本鉄工所	
4/23(木)	・第2回研究責任者会議(福井大学)
4/28(火)	・第5回目利きワーキンググループ(エネ研)
5/18(月) 5/19(火) 5/20(水) 5/27(水)	・第4回責任企業訪問(日華化学、エル・ローズ、福井シード、ウラセ、清川メッキ工業)
7/29(水)	・第3回異業種交流会(ウェルシティ福井):参加者88名 ①都市エリア産学官連携促進事業(ふくい若狭エリア)について ②成果紹介 WG1-1「イオンビームによる植物工場用野菜の新品種開発」 WG1-2「白色腐朽菌を用いたダイオキシン類処理システムの開発」 WG1-3「繊維の難燃加工剤を分解し無害化するシステムの開発」 WG1-4「イオンビーム照射によるキチン分解細菌変異株を用いたN-アセチルグルコサミン製造技術開発」 WG2「気泡駆動型無動力液体循環式ヒートパイプの開発と実証展開」 WG3「サーモハイドロサイクルによる水素製造、利用技術開発」 WG4「極限環境における水素マネジメント技術の開発」
9/17(木) 9/25(金) 10/6(火)	・第4回事業戦略会議分科会・研究現場訪問(エネ研、福井大学、福井県立大学)
11/30(月) 12/4(金)	・第3回研究開発テーマ別検討会(福井大学、エネ研)
12/17(木)	・第3回事業推進委員会(ホテルフジタ福井)
3/2(火)	・第2回外部評価委員会(福井商工会議所) ・第3回事業化戦略会議(福井商工会議所)
3/11(木)	・第6回目利きワーキンググループ(エネ研)
3/24(水)	・成果報告会(福井商工会議所):参加者109名 ①講演「俊約と幸福～エネルギー環境問題解決への道～」 講師 NPO法人京都エネルギー・環境研究協会 代表 新宮秀夫 氏 ②平成21年度の総括 研究統括 小林紘二郎 ③成果報告 WG1-1「イオンビームによる植物工場用野菜の新品種開発」 WG1-2「白色腐朽菌を用いたダイオキシン類処理システムの開発」 WG1-3「繊維の難燃加工剤を分解し無害化するシステムの開発」 WG1-4「イオンビーム照射によるキチン分解細菌変異株を用いたN-アセチルグルコサミン製造技術開発」 WG2「気泡駆動型無動力液体循環式ヒートパイプの開発と実証展開」 WG3「サーモハイドロサイクルによる水素製造、利用技術開発」 WG4「極限環境における水素マネジメント技術の開発」 ・交流サロン(福井商工会議所)



第3回異業種交流会



成果報告会

○ 戦略的基盤技術高度化支援事業

◇高品質固体レーザーによる遠隔切断技術の開発（平成18年12月～21年11月）

1. 目的

CO₂レーザーやYAGレーザーに比べ、高ビーム品質、高出力、高効率、小型という特徴を持つ最新型の**高品質固体レーザー(ファイバーレーザー)**に着目し、薄板から厚板までを高速・高精度で切断するための加工ヘッドを開発する。

2. プロジェクトチーム

【事業管理法人】財団法人若狭湾エネルギー研究センター

【研究メンバー】(5社1機関2大学)

株式会社レーザーックス（愛知県知立市）

株式会社共和製作所（敦賀市）

福伸工業株式会社（あわら市）

株式会社ファインデバイス（福井市）

有限会社松本鉄工所（敦賀市）

福井県工業技術センター

国立大学法人 大阪大学

国立大学法人 福井大学

3. 研究開発成果

(1) 薄板切断用加工ヘッドの開発

① 目標

材質：亜鉛メッキ鋼板、炭素鋼

切断板厚：1～3 mm

切断速度：5m/min

切断精度：仕上げ加工不要レベル

*アシストガスなしで 500 mm程度離れた位置から切断可能なこと

② 成果

6kW のファイバーレーザを用いて長焦点光学系を開発し、アシストガス不使用・500 mm程度離れた位置から、炭素鋼は切断板厚 1～2 mm で、亜鉛メッキ鋼板は同 1 mm で上記目標を全て達成した。通常の自動車用パネル部品のブランキング、トリミング等プレス工程にて一部置換可能と考える。

また、10kW のファイバーレーザでも、炭素鋼は切断板厚 3.2 mm、亜鉛メッキ鋼板は同 2～3 mm に対して上記目標を全て達成した。

(2) 厚板切断用加工ヘッドの開発(6+4kW 及び 10kW)

① 目標

材質：高張力鋼(SM520、SM590)、炭素鋼(SS400)

切断板厚：40 mm以上 切断速度：450 mm/min 以上 切断幅：5 mm以下

② 成果

6kW+4kW のファイバーレーザ及び 10kW のファイバーレーザを用いて長焦点光学系を開発し、アシストガス使用で上記目標を全て達成した。素材の切断等には適用が可能と考える。溶接前の開先加工不要とするには、切断面の品質向上が必要である。

(3) 厚板水中切断用加工ヘッドの開発(6+4kW 及び 10kW)

① 目標

材質：炭素鋼、ステンレス鋼

切断板厚：50 mm以上 切断速度：50 mm/min 程度 切断幅：5 mm程度

*水中での切断が可能なこと

② 結果

6kW+4kW ファイバーレーザ及び 10kW ファイバーレーザで長焦点光学系を開発、アシストガス使用さらに四重ノズル構造とした加工ヘッドにて、水中での上記目標を全て達成した。

10kW 級のレーザで板厚 50 mmの炭素鋼とステンレス鋼が、切断速度 50 mm/min、切断幅 1～2 mm程度で切断出来ており、レーザ発振機の出力上昇を前提に実機の切断が見通せるデータを取得した。特に、水中プラズマ溶断、アブレイシブウォータージェット切断と比べて切断幅は非常に狭く、廃棄物発生量の低減の観点から優位な技術と考える。

厚板水中切断試験結果(板厚 50 mm, 切断速度 50 mm/min)

	一般構造用鋼(SS400)	ステンレス鋼(SUS304)
入射面		
出射面		

○ 低炭素社会に向けた技術シーズ発掘・社会システム実証モデル事業

月/日(曜日)																											
◇平成20年度低炭素社会に向けた技術シーズ発掘・社会システム実証モデル事業(平成21年3月30日事業着手)																											
研究機関 三菱電機株式会社、アイテック株式会社、岩谷産業株式会社、関西電力株式会社、株式会社環境総合テクノス、福伸工業株式会社、福井県工業技術センター、財団法人若狭湾エネルギー研究センター、																											
協力機関 京都大学、福井県立大学、福井鋳螺株式会社、福井県農業電化協会、福井県、福井県農業試験場																											
目的及び目標 現在、加温設備を持つ施設園芸用ハウスは平成17年の国内実績で22,712haに及んでおり、石油炊ボイラーが96.2%を占めている。これにより二酸化炭素の総排出量は595万トンに及び標準的な1,000㎡のハウス1棟では年間107トンの二酸化炭素が排出されている。このため石油消費量の減少と低炭素化を目指しヒートポンプ(HP)を用いた高効率な大空間空調システムを開発するとともに、日照時間が少なく、かつ、寒冷な環境条件的に厳しい福井県嶺南地域においてシステム検証、実証評価試験を実施することにより全国で導入可能なシステム技術を確立する。このシステム導入により、1棟当たりの二酸化炭素の排出量を年間107tから、52tへと削減させることを目的とする。																											
研究結果 本事業により開発した施設園芸用のヒートポンプ空調システムに関し次のような成果を得ることができた。 ○ システム機能 : CO₂削減率50%、エネルギーコスト削減率45% ○ 環境制御 : 室内温度ムラを±3℃以内で制御 ○ 農作物に関する有効性 : 収穫量、品質とも石油ボイラーと同程度の性能 ○ CO₂固定の有効性 : CO₂付加により30%以上の増収。これにより火力発電所からの分離回収CO₂を付加し固定する事業成立性を確認 ○ 対農薬腐食処理 : 電着塗装による有効な耐農薬腐食処理方を確認																											
<空調システムの概略図>																											
主な日程・成果発表等 <table border="1"> <thead> <tr> <th>日付</th><th>内容</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4/28(火)</td><td>第1回事業推進委員会(福井県国際交流会館)</td></tr> <tr> <td>7/7(火)</td><td>農業電化・省エネ勉強会(ウェルシティ福井(福井厚生年金会館)) ・主催 福井県農業電化協会 ・参加者 29名</td></tr> <tr> <td>10/14(水)</td><td>第2回事業推進委員会(福井県国際交流会館)</td></tr> <tr> <td>10/14(水)</td><td>第1回福井クールアース技術セミナー(福井県国際交流会館 多目的ホール) ・テーマ「未来を拓く次世代エネルギー技術」 ・参加者 77名</td></tr> <tr> <td>10/22, 23 (木、金)</td><td>「福井クールアース・次世代エネルギー産業化プロジェクト展」(福井県産業会館) (北陸技術交流テクノフェアの特別展として、実証設備模型などを展示) ・参加者 18,752名(北陸技術交流テクノフェア2009入場者数)</td></tr> <tr> <td>11/27(金)</td><td>平成21年度 先進地見学研修会(若狭町実証設備) ・主催 福井県農業電化協会 ・参加者 13名</td></tr> <tr> <td>12/5, 6 (土、日)</td><td>「嶺南エネルギー技術フェア2009」(敦賀きらめきみなと館) (事業紹介と実証試験で栽培したトマトを配布)</td></tr> <tr> <td>12/4(金)</td><td>社会福祉法人「若狭つくし会」収穫作業体験</td></tr> <tr> <td>12/17(木)</td><td>第2回福井クールアース技術セミナー(プラザ萬象 小ホール) ・テーマ「燃料電池およびヒートポンプの最新技術」・参加者 50名</td></tr> <tr> <td>12/18(金)</td><td>第3回事業推進委員会 (福井県若狭湾エネルギー研究センターおよび若狭町実証設備)</td></tr> <tr> <td>2/18(木)</td><td>第4回事業推進委員会(福井県国際交流会館)</td></tr> <tr> <td>2/27(土)</td><td>「若狭町環境フェア」(県立三方青年の家) (事業紹介と実証試験で栽培したトマトを配布)</td></tr> </tbody> </table>		日付	内容	4/28(火)	第1回事業推進委員会(福井県国際交流会館)	7/7(火)	農業電化・省エネ勉強会(ウェルシティ福井(福井厚生年金会館)) ・主催 福井県農業電化協会 ・参加者 29名	10/14(水)	第2回事業推進委員会(福井県国際交流会館)	10/14(水)	第1回福井クールアース技術セミナー(福井県国際交流会館 多目的ホール) ・テーマ「未来を拓く次世代エネルギー技術」 ・参加者 77名	10/22, 23 (木、金)	「福井クールアース・次世代エネルギー産業化プロジェクト展」(福井県産業会館) (北陸技術交流テクノフェアの特別展として、実証設備模型などを展示) ・参加者 18,752名(北陸技術交流テクノフェア2009入場者数)	11/27(金)	平成21年度 先進地見学研修会(若狭町実証設備) ・主催 福井県農業電化協会 ・参加者 13名	12/5, 6 (土、日)	「嶺南エネルギー技術フェア2009」(敦賀きらめきみなと館) (事業紹介と実証試験で栽培したトマトを配布)	12/4(金)	社会福祉法人「若狭つくし会」収穫作業体験	12/17(木)	第2回福井クールアース技術セミナー(プラザ萬象 小ホール) ・テーマ「燃料電池およびヒートポンプの最新技術」・参加者 50名	12/18(金)	第3回事業推進委員会 (福井県若狭湾エネルギー研究センターおよび若狭町実証設備)	2/18(木)	第4回事業推進委員会(福井県国際交流会館)	2/27(土)	「若狭町環境フェア」(県立三方青年の家) (事業紹介と実証試験で栽培したトマトを配布)
日付	内容																										
4/28(火)	第1回事業推進委員会(福井県国際交流会館)																										
7/7(火)	農業電化・省エネ勉強会(ウェルシティ福井(福井厚生年金会館)) ・主催 福井県農業電化協会 ・参加者 29名																										
10/14(水)	第2回事業推進委員会(福井県国際交流会館)																										
10/14(水)	第1回福井クールアース技術セミナー(福井県国際交流会館 多目的ホール) ・テーマ「未来を拓く次世代エネルギー技術」 ・参加者 77名																										
10/22, 23 (木、金)	「福井クールアース・次世代エネルギー産業化プロジェクト展」(福井県産業会館) (北陸技術交流テクノフェアの特別展として、実証設備模型などを展示) ・参加者 18,752名(北陸技術交流テクノフェア2009入場者数)																										
11/27(金)	平成21年度 先進地見学研修会(若狭町実証設備) ・主催 福井県農業電化協会 ・参加者 13名																										
12/5, 6 (土、日)	「嶺南エネルギー技術フェア2009」(敦賀きらめきみなと館) (事業紹介と実証試験で栽培したトマトを配布)																										
12/4(金)	社会福祉法人「若狭つくし会」収穫作業体験																										
12/17(木)	第2回福井クールアース技術セミナー(プラザ萬象 小ホール) ・テーマ「燃料電池およびヒートポンプの最新技術」・参加者 50名																										
12/18(金)	第3回事業推進委員会 (福井県若狭湾エネルギー研究センターおよび若狭町実証設備)																										
2/18(木)	第4回事業推進委員会(福井県国際交流会館)																										
2/27(土)	「若狭町環境フェア」(県立三方青年の家) (事業紹介と実証試験で栽培したトマトを配布)																										



環境試験用栽培ハウス



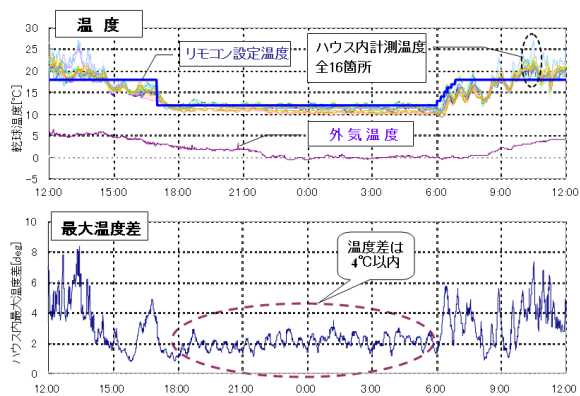
ヒートポンプ（室内機）



循環扇



CO₂発生装置



ハウス内温度制御（12/18～12/19）
夜間零下の時の制御事例

Item	Unit	1. This system	2. Existing system	Reduction (1-2)
投入熱量	Mcal	174,502	174,502	
CO2排出量	kg/CO ₂	29,711	60,917	-31,206 (-51.2%)
エネルギーコスト A重油単価 ケース比較	100 yen/L	yen 1,279,998	2,282,288	-1,002,290 (-43.9%)
	70 yen/L	yen 1,091,352	1,618,905	-527,553 (-32.6%)
	50 yen/L	yen 965,588	1,176,651	-211,063 (-17.9%)

平年の気象状況に補正して計算
 電力のCO2 排出係数 : 0.299kg-CO₂/kWh (関西電力2008年公表値)
 A重油のCO2 排出係数 : 2.71kg-CO₂/L (環境省)

CO2 削減効果とエネルギーコスト削減効果
（暖房期間 11月～4月）



第1回福井クールアース技術セミナー



福井クールアース・次世代エネルギー産業化プロジェクト展

技術相談や研修による地域産業との技術連携・支援(H21年度)

○ 主な技術支援(全 300 件)

件 名	使用機器
めっき等の表面加工評価	AES、XPS、TEM
金型の長寿命化に向けた表面改質度分析	XPS
りん青銅合金の元素分析	ICP-AES、EPMA
フリーラジカル定量技術の支援	ESR
電子基板のショート、付着物、チップ抵抗不良原因の調査等	EPMA
乳酸中の微量金属濃度測定	ICP-AES
地元産梅を用いた梅酒開発における匂い分析	GC-MS
アブラギリからの桐油の活用	GC-MS
金属部品の表面硬化方法開発（教育研究）	薄膜硬度計、超薄膜スクラッチ試験機
ショットピーニング加工した微細粒鋼の疲労評価（教育研究）	薄膜硬度計、SEM
毛髪の観察	原子間力顕微鏡、蛍光顕微鏡
人工衛星電子回路誤作動等のイオンビーム照射実験	200kV マイクロ波イオン注入装置
タービン作動油の全酸価試験	
薬理効果の高い冬虫夏草の開発検討	
歯科工具等に適用するチタン加工技術の応用分野拡大	

○ 分析・評価技術研修

実施日	内 容	参加数	講師等
H21. 9. 2	GC-MS（高分解能質量分析装置）技術研修	6 名	日本電子㈱
H21. 9. 11	SEM（走査型電子顕微鏡（LV 型））技術研修	4 名	
H21. 9. 30～10. 1	XPS（高分子結合状態解析システム）技術研修	3 名	
H21. 10. 21～22	SEM（走査型電子顕微鏡（FE 型））技術研修	3 名	
H21. 11. 5～6	EPMA（電子プローブマイクロアナライザー）技術研修	4 名	
H21. 12. 2～3	ESR（電子スピン共鳴装置）技術研修	3 名	

GC-MS 技術研修
[H21. 9. 2]EPMA 技術研修
[H21. 11. 5～6]

略語説明

AES	オージェ電子分光装置	NMR	フーリエ変換核磁気共鳴装置
AFM	原子間力顕微鏡装置	SEM	走査型電子顕微鏡装置
EPMA	電子プローブマイクロアナライザー装置	TEM	超高分解能高圧分析電子顕微鏡装置
ESR	電子スピン共鳴装置	XPS	X線光電子分光装置
GC-MS	高分解能質量分析装置	XRD	X線回折装置
ICP-AES	誘導結合高周波プラズマ発光分光装置		

国内外の研究者・技術者等との交流

○ 国内外研究者等との交流

日 時	内 容	参加者数・場所
9/3 (木)	在日サウジアラビア王国大使館 ・ 太陽炉関係研究に関する意見交換	8 名 特別会議室
12/18(金)	カナダオンタリオ工科大学、マクマスター大学 ・ 研究者との意見交換	10 名 応接室
3/8(月)	ベトナム工業用原子力技術応用センター (CANTI) ・ 研究者との意見交換	10 名 CANTI
3/10(水)	タイ王国チュラロンコン大学 ・ 研究者との意見交換	10 名 チュラロンコン大学

○ 研究協定・覚書締結

日 時	内 容
11/5(木)	ベトナム工業用原子力技術応用センター (CANTI)
H22/1/22 (金)	タイ王国チュラロンコン大学

○ 国外研究者の研修

日 時	内 容
H20/10/8 (水) ～6/24 (水)	ベトナム工業用原子力技術応用センター (CANTI) LE Trieu Ngoc 氏 ・ 放射線の農業利用 (品種改良)
9/9(水)～ H22/6/23 (水)	スリランカ米研究開発研究所 Munasingha Jayasundara Mudiyanseelage Priyanthi Kumararathna 氏 ・ 放射線の農業利用 (品種改良)

○ 研究成果報告会

日 時	内 容	備 考 等
H 2 1 . 1 2 / 9 (水) 13:00～16:20	第 1 1 回研究報告会 (日本 A P E C エネルギー大臣会合開催記念) 開会挨拶 (財)若狭湾エネルギー研究センター 理事長 旭 信昭 国立大学法人 福井大学長 福田 優 報告会 「新型ヒートパイプ B A C H の研究開発」 福井大学 準教授 永井 二郎 「飽和水蒸気雰囲気におけるシリカ上担持 $V_2O_5 \cdot nH_2O$ の構造変化」 エネルギー開発グループ 主査研究員 西尾 繁 「ポータブル蛍光 X 線装置の開発」 エネルギー材料グループ 主査研究員 安田 啓介 「若狭湾エネルギー研究センターにおける粒子線治療、臨床・基礎」 粒子線医療研究室 室長 山本 和高 主任研究員 久米 恭 「イオンビーム照射によって変異誘導された冬虫夏草菌による 生理活性物質の効率的な生産法の開発」 生物資源グループ 主任研究員 畑下 昌範 「実験前立腺癌に対する陽子線照射効果の共同研究」 福井大学 助教 三好 憲雄 「プラズマ処理による高強度炭素繊維/プラスチック複合材料の創製」 京都工芸繊維大学 準教授 奥林 里子 閉会挨拶 (財)若狭湾エネルギー研究センター 所長 小林 紘二郎	福井大学 総合研究棟 I 1 3 階会議室 参加 約 100 名

○ 研究成果報告集

発行月	内 容	備 考 等
(第 1 1 巻) H 2 1 . 1 1 月発行	研究成果報告集 第 1 1 巻 I 研究報告 (平成 2 0 年度) [成果報告] (計 1 3 件) (1) 粒子線がん治療研究 2 件 (2) 薄膜製造技術開発 1 件 (3) 分析・照射技術開発 4 件 (4) 農産物の品種改良技術開発等 2 件 (5) エネルギー開発研究 3 件 (6) 加速器技術 1 件 [活動報告] 1 3 件 II 産業・技術・研究支援事業報告 1 産業・技術・研究支援事業 2 施設利用状況 III 公開発表一覧	(発行) 2 0 0 0 部 (配布先) 財団関係者 賛助会員 研究報告会参加者 センター来館者

○ マスメディアによる情報発信

日 時	内 容
5/30(土) 17:25～17:45 5/31(日) 7:40～8:00	F B C ラジオキャンパス ～いいもの探検隊～ (福井放送) 「所長就任あいさつ」 (財)若狭湾エネルギー研究センター 所長 小林 紘二郎
8/8(土) 17:25～17:45 8/9(日) 7:40～8:00	F B C ラジオキャンパス ～いいもの探検隊～ (福井放送) 「若狭湾エネルギー研究センターに赴任して」 研究開発部長 峰原 英介
10/31(土) 17:25～17:45 11/1(日) 7:40～8:00	F B C ラジオキャンパス ～いいもの探検隊～ (福井放送) 「福井県原子力保修技術技量認定制度について」 エネルギー研究開発拠点化推進組織 人材育成・交流チーム チーフマネージャー 楠木 敦
12/26(土) 17:25～17:45 12/27(日) 7:40～8:00	F B C ラジオキャンパス ～いいもの探検隊～ (福井放送) 「新型ヒートパイプの開発について」 研究開発部 エネルギー開発グループ 主幹研究員 鳥取 章二
2/13(土) 17:25～17:45 2/14(日) 7:40～8:00	F B C ラジオキャンパス ～いいもの探検隊～ (福井放送) 「技術支援／嶺南地域モデル事業について」 エネルギー研究開発拠点化推進組織 技術支援・相談チーム マネージャー 中尾 治生
3/27(土) 17:25～17:45 3/28(日) 7:40～8:00	F B C ラジオキャンパス ～いいもの探検隊～ (福井放送) 「陽子線がん治療臨床研究の成績」 研究開発部 粒子線医療研究室 室長 山本 和高

○ ホームページによる情報発信

随 時	ホームページの更新 講演会、イベント等の開催案内 エネルギー研究開発拠点化推進組織の取組状況 等	アクセス数 約8000件／月
-----	--	-------------------

展示会等への出展

月 日	内 容	参加者数
6/20(土) ～21(日)	第8回産学官連携推進会議 展示会 ・研究紹介パネル展示 ・ヒートパイプ、小型太陽炉展示	入場者総数 約 4500 名
8/ 8(土) ～ 9(日)	おもしろフェスタ in サンドーム福井 2009 ・研究紹介パネル展示 ・子供向け実験コーナー	入場者総数 約 17000 名
8/ 9(土) ～10(日)	サイエンスワールド 2009 ・小型太陽炉デモ	入場者総数 約 18000 名
10/16(金) ～17(土)	ふくい環境フェア 2009 ・小型太陽炉展示	入場者総数 約 24000 名
10/22(木) ～23(金)	北陸技術交流テクノフェア 2009 ・研究紹介パネル展示 ・ヒートパイプ、小型太陽炉展示	入場者総数 約 19000 名
10/23(金)	しんきんビジネスフェア 2009 ・研究紹介パネル展示 ・品種改良花卉、マイクロフローラ、小型太陽炉展示	入場者総数 約 8600 名
11/6(金)	ふくい新技術・新工法展示商談会(大和ハウス工業、奈良市) ・研究紹介パネル展示 ・ヒートパイプ、小型太陽炉展示	入場者総数 約 100 名
11/12(木)	第5回 FIT ネット商談会 ・研究紹介パネル展示 ・品種改良花卉、ヒートパイプ、小型太陽炉展示	入場者総数 約 2100 名
11/14(土) ～15(日)	青少年のための科学の祭典 2009 福井大会 ・研究紹介パネル展示 ・小型太陽炉デモ	入場者総数 約 4700 名
11/19(木) ～20(金)	ふくい新技術・新工法展示商談会(日産自動車、厚木市) ・研究紹介パネル展示 ・ヒートパイプ、小型太陽炉展示	入場者総数 約 1250 名
12/ 5(土) ～ 6(日)	嶺南エネルギー技術フェア 2009 ・研究紹介パネル展示 ・品種改良花卉、マイクロフローラ、ヒートパイプ展示	入場者総数 約 4600 名
12/19(土)	原子力産業セミナー2009 ・研究紹介パネル展示	入場者総数 約 500 名
2/ 9(火)	ふくい新技術・新工法展示商談会(三洋電機、大東市) ・研究紹介パネル展示 ・ヒートパイプ、小型太陽炉展示	入場者総数 約 150 名
2/24(水)	一日工業技術センター ・研究紹介パネル展示 ・ヒートパイプ、小型太陽炉展示	入場者総数 約 50 名
2/27(土) ～28(日)	敦賀市環境フォーラム ・研究紹介パネル展示 ・ヒートパイプ、小型太陽炉展示	入場者総数 約 3500 名

4. 7. 施設利用状況

若狭湾エネルギー研究センター施設利用状況を以下にまとめる。

4. 7. 1. 見学者数(単位:人)

月	4	5	6	7	8	9
人 数	150	37	147	229	261	98

月	10	11	12	1	2	3	合 計
人 数	127	527	68	44	38	55	1,781

4. 7. 2. 会議室等施設利用状況(※)

(単位:件)

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	合 計
件 数	24	17	48	51	73	83	45	33	123	57	29	40	623

※ 貸出施設:ホール、特別会議室、交流室(1、2)、研修室(1、2、3、4)、
会議室(1、2、3)、実習室(1、2、3)

4. 7. 3. 分析装置等科学機器の利用状況(外部利用件数)

年間利用件数:260 件

利用装置別内訳

- ・電子顕微鏡等観察装置: 120 件(46%)
- ・元素等分析装置 : 19 件(7%)
- ・物質構造分析装置 : 114 件(44%)
- ・その他 : 7 件(3%)

利用者の所在地域別内訳

県内 122 件(47%)、県外 138 件(43%)

4. 7. 4. 加速器の利用状況

年間利用時間: 2,393 時間(設備使用料徴収対象(減免含む)の利用時間)

利用目的別内訳

- ・農業利用 : 242 時間(15%)
- ・工業利用 : 715 時間(44%)
- ・医療利用 : 673 時間(41%)
- (その他…照射実験等 : 763 時間)

5. 公開發表一覧

5. 1. 論文発表

平成21年度の査読付論文は、全部で36編であった。

生物資源グループ 全12編

1. Microbeam irradiation facilities for radiobiology in Japan and China. Kobayashi Y, Funayama T, Hamada N, Sakashita T, Konishi T, Imaseki H, Yasuda K, M. Hatashita, Takagi K, Hatori S, Suzuki K, Yamauchi M, Yamashita S, Tomita M, Maeda M, Kobayashi K, Usami N, Wu L.: J Radiat Res, 50, 29-47(2009)
2. A new paradigm in radioadaptive response developing from microbeam research., H. Matsumoto, M. Tomita, K. Otsuka, M. Hatashita: J Radiat Res, 50, 67-79(2009)
3. Identification of a cis-acting element responds to ultrasound in 5'-flanking region of human heme oxygenase. Ultrasound in Med. & Biol. G. Kagiya, R. Ogawa, S. Ito, S. Fukuda, M. Hatashita, T. Yoshikazu, K. Yamamoto, and T. Kondo:, 35, 155-164(2009) DC
4. Serum Hydroxyl Radical Scavenging Capacity as Quantified with Iron-free Hydroxyl Radical Source_N. Endo, S. Oowada, Y. Sueishi, M. Shimmei, K. Makino, H. Fujii, Y. Kotake: J. Clinical Biochem. Nutrition, 45, 193-201 (2009)
5. An oxygen radical absorbance capacity-like assay that directly quantifies the antioxidant's scavenging capacity against AAPH-derived free radicals. S. Kohri, H. Fujii, S. Oowada, N. Endo, Y. Sueishi, M. Kusakabe, M. Shimmei, Y. Kotake: Analytical Biochem. 386, 167-171 (2009)
6. γ -H2AX foci formation after argon beam irradiation to the cultured animal cell. K. Takagi, T. Tsukada, M. Izumi, Y. Kazama, Y. Hayashi, T. Abe: RIKEN ACC. PROG. REP. 42, 274 (2009)
7. Inhibition of NF-kappaB by combination therapy with parthenolide and hyperthermia and kinetics of apoptosis induction and cell cycle arrest in human lung adenocarcinoma cells. S. Hayashi, H. Sakurai, A. Hayashi, Y. Tanaka, M. Hatashita, H. Shioura: Int. J. Mol. Med., 25(1), 81-87 (2010)
8. Optimization of culture medium for cordycepin production using Cordyceps militaris mutant obtained by ion beam irradiation. S. K. Das, M. Masuda, M. Hatashita, A. Sakurai, M. Sakakibara: Process Biochemistry, 45, 129-132(2010)
9. Is the Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) Method a Peroxyl-radical Scavenging Assay?, Y. Sueishi, D. Yoshioka, S. Oowada, N. Endo, S. Kohri, H. Fujii, M. Shimmei, Y. Kotake, Zeitschrift für Physikalische Chemie, 224 (2010) 921-928.
10. Edaravone directly reacts with singlet oxygen and protects cells from attack., Y. Nishinaka, H. Mori, N. Endo, T. Miyoshi, K. Yamashita, S. Adachi, T. Arai, Life Sciences, 86 (2010) 808-813.
11. Production of manganese peroxidase by white rot fungi from potato-processing wastewater: Role of amino acids on biosynthesis, S. Fujihara, M. Hatashita, A. Sakurai and M. Sakakibara, African Journal of Biotechnology, 9(5), 725-731(2010)
12. Improvement and induction property of radiation-responsive promoter through 3 DNA shuffling of 5'-flanking regions of the human p21 gene, G. Kagiya, R. Ogawa, J. A. Cook, R. Choudhuri, M. Hatashita, Y. Tanaka, B. G. DeGraff, and J. B. Mitchell, Journal of Bioscience and

エネルギー材料 研究グループ 全5編。

1. Development of a TOF-ERDA measurement system for analysis of light elements using a He beam, K. Yasuda, C. Batchuluun, R. Ishigami and S. Hibi, Nucl. Instr. and Meth. B submitted.
2. Fluorine uptake into human enamel around fluoride-containing dental materials during cariogenic pH cycling, H. Komatsu, H. Yamamoto, M. Nomachi, K. Yasuda, Y. Matsuda, Y. Murata, T. Kijimura, H. Sano, T. Sakai, T. Kamiya, Nucl. Instr. and Meth. B, 267 (2009), 2136-2139.
3. Development of a System for Measuring Fluoride Distribution in Teeth Using a Nuclear Reaction, H. Yamamoto, Y. Iwami, S. Ebisu, M. Nomachi, K. Yasuda, T. Sakai and T. Kamiya, Int. J. PIXE 19 (2009), 91-102.
4. Microbeam Irradiation Facilities for Radiobiology in Japan and China, Yasuhiko KOBAYASHI, Tomoo FUNAYAMA, Nobuyuki HAMADA, Tetsuya SAKASHITA, Teruaki KONISHI, Hitoshi IMASEKI, Keisuke YASUDA, Masanori HATASHITA, Keiichi TAKAGI, Satoshi HATORI, Keiji SUZUKI, Motohiro YAMAUCHI, Shunichi YAMASHITA, Masanori TOMITA, Munetoshi MAEDA, Katsumi KOBAYASHI, Noriko USAMI and Lijun WU, J. Radiat. Res., Vol.50, Suppl., A29-A47 (2009)
5. Control of magnetic state using energetic ion irradiation for FeRh thin films deposited on MgO single crystal substrates, N. Fujita¹; S. Kosugi¹; T. Matui¹; Y. Saito²; Y. Okamoto³; S. Seki⁴; Y. Kaneta⁵; T. Batchuluun⁶; K. Kume⁶; T. Kamiya²; N. Ishikawa³; A. Iwase¹, 11th Joint MMM-Intermag Conference, USA (2010)

エネルギー開発グループ、 全11編。

1. Hydrogen Generation from Iron and Water Utilizing the Renewable Solar Energy, 新宮秀夫、天田健一、重田達雄、大西東洋司, World Renewable Energy Congress 2009-Asia, 2009.5.21, "Proceedings Topic B: Solar Energy: Photovoltaics, Solar Thermal, Solar Cooling B2-033"
2. Hydrogen Generation from Iron and Water - Utilizing the Solar Energy, 新宮秀夫、天田健一、重田達雄、鳥取章二、大西東洋司 Hydrogen + Fuel Cells 2009、2009.6.2, Proceedings Hydrogen 5 3.405.2"
3. Epitaxial Growth and Photoresponse Properties of BaSi₂ Layers toward Si-Based High-Efficiency Solar Cells", Y. Matsumoto, D. Tsukada, R. Sasaki, M. Takeishi, T. Saito, T. Suematsu, N. Usami, M. Sasase : Japanese Journal of Applied Physics 49(2010) 04DO05
4. X-ray photoelectron and X-ray absorption spectroscopic study on β -FeSi₂ thin film fabricated by ion beam sputter deposition., F. Esaka, H. Yamamoto, N. Matsubayashi, Y. Yamada, M. Sasase, K. Yamaguchi, S. Shamoto, M. Magara, T. Kimura: Applied Surface Science 256(2010)pp. 3155-3159
5. Friction-induced ultra-fine and nanocrystalline structure on metal surfaces in dry sliding, Hiroataka Kato, Masato Sasase, Nobuaki Suiya : Tribology International 43(2010)pp. 925-928.
6. 量子ビームを持ちいた非破壊プロファイリング, 山本博之、江坂文孝、松江秀明、笹瀬雅人、分析 2009, No.11 (2009)p. 612.
7. Formation of atomically flat β -FeSi₂/Si(100) interface using ion irradiated substrate, M. Sasase, H. Yamamoto, H. Kuara, Thin Solid Films 2009 submitted.
8. Interface Structure of β -FeSi₂ Thin Film Fabricated on Si and Silicon-on-Insulator Substrates, M. Sasase, H. Yamamoto, K. Shimura, K. Yamaguchi : Japanese Journal of Applied Physics 2009 submitted.
9. Ion induced structural modification and nano-crystalline formation of Zr-Al-Ni-Cu metallic glasses, S. Nagata, M. Sasase, K. Takahiro, B. Tsuchiya, A. Inoue, S. Yamamoto, T. Shikama : NIMB 267 (2009)1514-1517.

10. Enhancement of critical current densities in Co-Doped BaFe₂As₂ with columnar defects induced by heavy ion irradiation, Y. Nakajima, Y. Tsuchiya, T. Tamegai, S. Okayasu, M. Sasase、Phys. Rev. 2009 B80(2009)P.012510

11. Nanostructural observation of interface between b-FeSi₂ thin film and Si or silicon-on-insulator substrate, M. Sasase, K. Shimura, K. Yamaguchi, H. Yamamoto, S. Shamoto, Japanese Journal of Applied Physics, 2009, submitted.

粒子線医療研究室 全4編。

1. Method of the Quantitative and Objectivity Patient Positioning Assistance System According to Computers. Nippon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi. 2009 ;65 (5):639-646 19498254 (P,S,G,E,B) Noriya Yokohama,横濱 則也: 計算機支援による定量的, 客観的位置決め手法. 日放技学誌, Vol. 65, No. 5, 639-646, (2009)

2. Identification of a cis-Acting Element Responsive to Ultrasound in the 5'-Flanking Region of the Human Heme Oxygenase-1 Gene, Go Kagiya†, Ryohei Ogawa, Shinji Ito, Shigekazu Fukuda, Masanori Hatashita, Yoshikazu Tanaka, Kazutaka Yamamoto, Takashi Kondo, Med. Image Anal. Volume 35, Issue 1, Pages 155-164 (January 2009)

3. Construction of strong mammalian promoters by random cis-acting element elongation, R.Ogawa, G.Kagiya, T.Kodaki, S.Fukuda and K.Yamamoto
BioTechniques 42:628-633

4. Increase in Irradiation Beam Intensity by Using a Hybrid Target System in Cyclotron-Based Neutron Capture Therapy、Takushi TAKATA, Hiroki TANAKA, Yoshinori SAKURAI, and Akira MARUHASHI, Journal of NST, vol.47, No.7, p.575-581.(2010).

5. 2. 特許、品種登録

平成21年度の特許と品種登録を以下に 特許と品種登録野別、名称、所属、発明者、出願番号、発明年度、出願年度、持分割合を以下にまとめる。

特許出願

- 1「植物工場照明装置」 WERC 峰原英介 2010-85680 H21 H22.3 100%
- 2「X線複合分析装置及X線複合分析方法」 WERC、安田啓介、2009-182815、H21、H21.8. 100%
- 3「光線力学治療法粒子線治療を併用する光線力学治療法」WERC、(国)福井大学、三好憲雄、久米恭、出願番号 2009-271588、出願番号 2010-92621”、H21、H22.4.、50%
- 4「ホリイミト系高分子アクチュエータ、及びその製造方法」、WERC、(国)福井大学、畑下昌範、庄司英一 2010-153320、H21、H22.7.、20%
- 5「マクロン加速装置の電極構造」、WERC、石神龍哉、2010-65163、H21、H22.3、100%
- 6「液体レンズを用いた太陽光集光器」、WERC、西尾繁、2010-113703、H21、H22.5、100%
- 7「光分析装置の拡散反射用アタッチメント」、WERC、西尾繁、2010-143517、H21、H22.6、100%
- 8「液冷却式の集光型太陽電池」、WERC、西尾繁、2010-166930、H21、H22.7、100%
- 9「高分子アクチュエータ及びその製造方法」、WERC、(国)福井大学、畑下昌範、庄司英一、2010-33911、H21、H22.2.、50%。
- 10「高速中性子の線量分布測定方法」、WERC、高田卓志、2010-47693、H21、H22.3、100%。

品種登録 登録済み

- 1「せと福ホワイトバリエータ」、WERC 他、水野隆、高城啓一、畑下昌範、鈴木勝久、登録番号 17653 号、H21.03.02、共有。

2「せと福CAMR」、WERC 他、水野隆、高城啓一、畑下昌範、鈴木勝久、登録番号 18576 号、H21.11.26、共有。

3「せと福UMR」、WERC 他、水野隆、高城啓一、畑下昌範、鈴木勝久、登録番号 18577 号、H21.11.16 共有。

特許取得

1「金属材料中のヘリウム含有量計測方法」、WERC、伊藤慶文、遠藤伸之、T. Batchuluun、2009-19954、H21 公開。

2「イオンビームを用いた炭素分析法」、WERC、安田啓介、特許登録 4242748、H21 登録。

5. 3. 科研費取得状況

平成 21 年度の若狭湾エネルギー研究センターの獲得した科学研究費補助金は以下の 2 件でした。これは研究者当たり約 10% 平均獲得率で、応募した数が少ないと考えられますので比較的良好な成績と思われます。

1. 研究代表者：小林紘二郎/研究種目 H22 基盤研究 (C) 課題番号 21560759

研究課題： レーザー衝撃パルスによる高密度格子欠陥の新導入プロセスと高度制御

2. 研究代表者：安田啓介 /研究種目 H22 基盤研究 (C) 課題番号 22560835

研究課題： TOF-ERDA による軽元素分析のための反跳断面積の測定

5. 4. 最近の査読付き論文、学会発表、特許と品種登録の傾向

平成 21 年度は査読付き論文 36 編、口頭発表 65 編、特許と品種登録 15 件であった。図 1 のように最近 5 年間の論文、学会発表、特許と品種登録の傾向をグラフで表示した。このグラフから最近、若狭湾エネルギー研究センターの論文、学会発表、特許と品種登録は着実に増加していることが分かる。

H17-H21 特許・外部発表・学会発表の推移

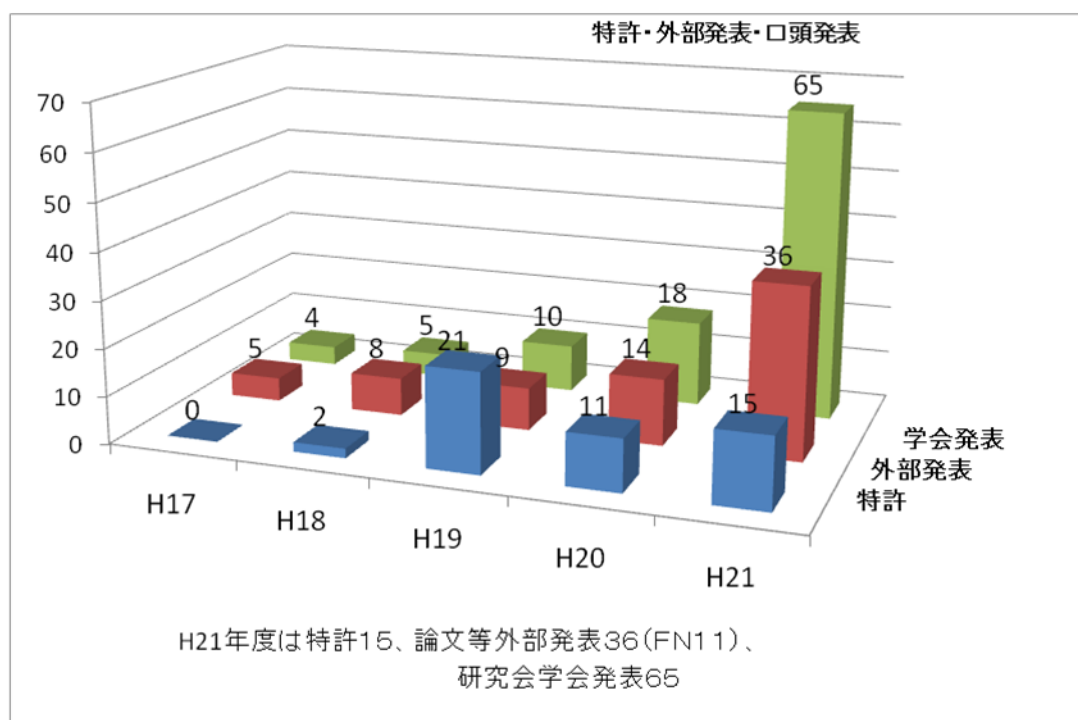


図1、最近 5 年間の査読付き論文、学会発表、特許(品種登録を含む)の傾向。

