

NEWSLETTER

POWER & ENERGY SYSTEM

動力エネルギーシステム部門ニューズレター

【第 18 号】

第 7 7 期部門長挨拶



動力エネルギーシステム部門
部門長 浜松 照秀

当期は後半が 2000 年にさしかかる 20 世紀最後の年度で、機械学会も 1997 年 100 周年をもって第二世紀に入っています。

エジソンがニューヨークで中央発電所からの通電に世界で初めて成功 (1882) し、翌年には東京にも電灯会社が発足して以来、110 余年経ちます。特にこの 50 年間は、25%にも満たなかった火力発電熱効率が再熱サイクル、複合サイクルという二度の飛躍で 50%に到達、また原子力は約 80%もの高い設備利用率が達成されてきました。新エネルギーも補助策で僅かながら普及し始め、熱・電気の消費の分野でも省エネは目をみはるものがあります。

当部門はエネルギーの生産から消費までの広範な学術・技術分野を対象としており、第 1、2 位部門登録者数約 3,800 名でみても機械学会の大きな部門 (約 8.5%) です。上記の顕著な発展があるものの、この分野が解決の努力をしなければならぬ課題はますます大きく、資源の制約、京都会議の合意 (1997) に代表される地球環境問題への対応、経済基盤としてのコスト・技術競争力の確保等々、当部門の会員諸兄が直面されている技術革新のニーズは際限がありません。

別表に示す部門関連行事は、年次大会中行事、講習会、見学会、講演会・部門賞贈呈式 (セミナー&サロン)、国際会議として ICOPE-99、ICONE-VII、ICEM-99 などがあり、ふるってご参加をお願いします。部門主催の動力エネルギーシンポジウム (隔年) は 2000 年開催ですが、発表などご参加準備も希う次第です。なお本年度から学会主要行事の総会、全国大会が一本化されて年次大会となります。

また学会の第二世紀将来構想に基づく当部門関係の懸案 (評議員の部門枠、JSME Int'l Journal 編集) 対処に加えて、各部門が担当する技術認証システム導入の検討も予想されます。

当部門は、財政規模は学会最大級ではありますが、運営は、次期部門長として選挙された吉田駿副部門長、総務、広報、企画第 1~第 5、技術第 1~第 3 の各委員会の委員に就いていただいた方々のボランティアによる活動にすぎることになります。

今期も部門の発展に向けて、会員諸兄、運営委員、各委員のご支援を切にお願いする次第です。

表 1999 年度「動力エネルギーシステム部門」行事

4 月	-4/5	拡大運営委員会 (新旧交代、於・早大理工学部)
	-4/19-23	ICONE-7 (Int'l Conf. on Nuclear Engng. 毎年開催、ASME, SFEN 共催、於・東京 京王プラザホテル)
6 月	-6/24	講習会「廃棄物発電」(於・学会会議室)
7 月	-7/25-28	ICOPE-99 (Int'l Conf. on Power Engng. 隔年開催、ASME, CSPE 共催、於・米国サンフランシスコ、毎年開催の米 IJPGC と合同開催)
	-7/27-29	年次大会 (於・慶応大学三田)
9 月	-9/7	講習会「原子力用動的機器の機能検証基準」(於・学会会議室)
	-9/26-30	ICEM-99 (Int'l Conf. on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation, 日本原子力学会、ASME 共催、於・名古屋国際会議場)
10 月	-10/7-8	見学会：波力発電設備「マイティーホェール」、廃棄物発電設備「笹ゆりクリーンパーク」
	-10/29	セミナー&サロン (燃料電池と地球環境)、部門賞贈呈、於・東芝本社)

【目次】

第 7 7 期部門長の挨拶	1
特集：核燃料サイクル	2
先端技術：(1) レーザの水中照射による	
金属材料表面の残留応力改善	4
(2) 水素利用に関する先端技術(WENET)	5
国際会議報告	7
研究分科会	7
研究室紹介	8

地区便り：見学会 Spring-8	8
平成 10 年度部門賞受賞者の所感	9
セミナー&サロン特別講演概要	10
国際会議予定	11
副部門長選挙結果報告	12
部門賞募集	12
ロゴマーク選定結果	12

◇特集◇

高速増殖炉 (FBR) 燃料サイクルの開発の現状



核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター
小野 清

1. はじめに

平成9年12月、原子力委員会の高速増殖炉懇談会は、FBR 実用化に向けての着実な研究開発の必要性を再確認しており、核燃料サイクル開発機構は、将来の核燃料サイクル技術体系の柱となる FBR とこれに関連する核燃料サイクル技術の研究開発を推進している。ここでは FBR 燃料サイクルの中の再処理技術および燃料製造技術について、酸化物 (MOX) 燃料を中心としたこれまでの開発状況を紹介します。

2. FBR 燃料再処理技術の開発

ピューレックス法を基本とした湿式再処理技術については、「常陽」等の照射試験燃料を用いたホット基礎試験を通して、プロセスの技術的成立性をほぼ見通している。さらに経済性向上を目指した低除染再処理法および大幅なコスト低減の可能性を有している乾式再処理法についても、研究開発に着手している。

2.1 現行湿式再処理技術 (高除染再処理法)

ピューレックス法をベースとした現行の湿式再処理法では、せん断、溶解、共除染、精製、濃縮等の各工程を経て、製品としての硝酸 U、Pu 溶液を払い出す。現在、経済性向上を目指して、レーザー解体機、連続溶解槽、遠心抽出器等の小型・高性能機器の開発を進めており、システムとしての技術的成立性を見通しを得ている。

また、図1に示す様な、溶媒抽出プロセスを短縮化するためのフローシートの改良や廃棄物発生量の低減を目指したソルトフリー・プロセスの開発にも取り組んでいる。

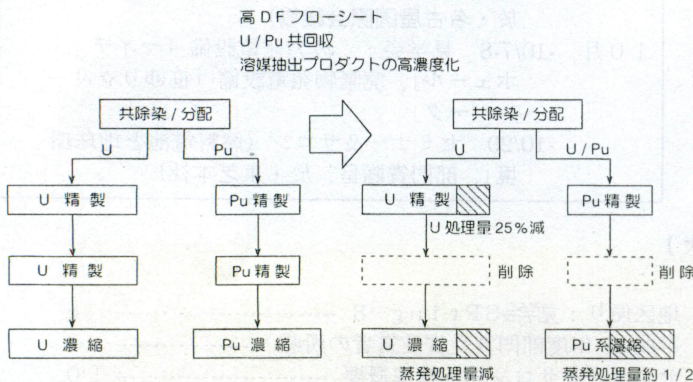


図1 実用化に向けた FBR 再処理技術開発例 (フローシートの改良)

2.2 先進湿式再処理技術 (低除染再処理法)

先進湿式再処理では低除染再処理工程を採用することによ

り、精製工程の削除や晶析法を採用し前処理段階で余剰 U を除去することによる水や硝酸の使用量低減等により大幅な設備削減が可能となる。晶析法とは、U の溶解度が温度によって異なることを利用した U 精製法の一つであるが、高い除染係数が期待できないため従来の高除染再処理技術への実用化には至らなかった。

また、本技術では低除染燃料を取り扱うため燃料製造工程もセル内に設置し、再処理工程と一緒に一体化した一体型プラントの構築が可能となる。

2.3 再処理技術の経済性を見通し

図2に示す通り、湿式再処理技術においては、小型・高性能機器の開発、溶媒抽出プロセスの短縮化等により、軽水炉燃料再処理の2倍程度までコストを低減できる見通しを得ている。低除染再処理法を採用した再処理/燃料製造一体化施設概念では、さらにコスト低減が期待できることが分かった。

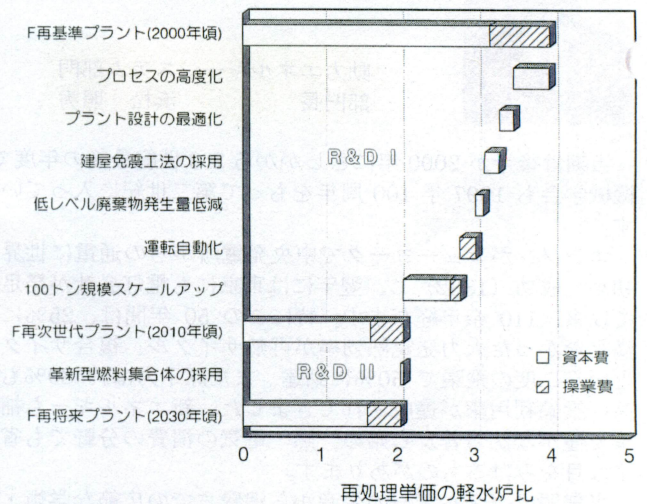


図2 FBR 再処理単価の低減効果の試算

3. FBR 燃料製造技術の開発

FBR 燃料製造技術については、「常陽」および「もんじゅ」燃料の製造を通して、混合転換技術および MOX ペレット燃料の量産技術の確立を図ってきたと共に、従来のペレット燃料に加え、バイパック燃料の研究開発にも着手している。

3.1 ペレット燃料製造技術

ペレット燃料製造プロセスでは、再処理から回収された硝酸プルトニウム溶液と硝酸ウラニル溶液の1対1の混合溶液をマイクロ波脱硝加熱器で固体の酸化物に混合転換 (MH 法) した後、ウラン粉末や乾式回収粉末との混合、造粒、成型、焼結等の各工程を経て製品ペレットになる。

現在、経済性向上のため、工程設備の自動化および一体化、検査基準の合理化等の技術開発を進めるとともに、ペレット製造工程自体の簡素化を目指したショート・プロセスの開発に取り組んでいる。図3に現行プロセスとショート・プロセスの比較を示す。ショート・プロセスでは、再処理から回収した硝酸溶液段階でプルトニウム富化度調整を行った後、MH 法で流動性の良い粉末を製造するため、粉末の状態での富化度調整を行う混合工程および粉末の流動性向上を目的とした造粒・整粒工程を削除することが可能となる。

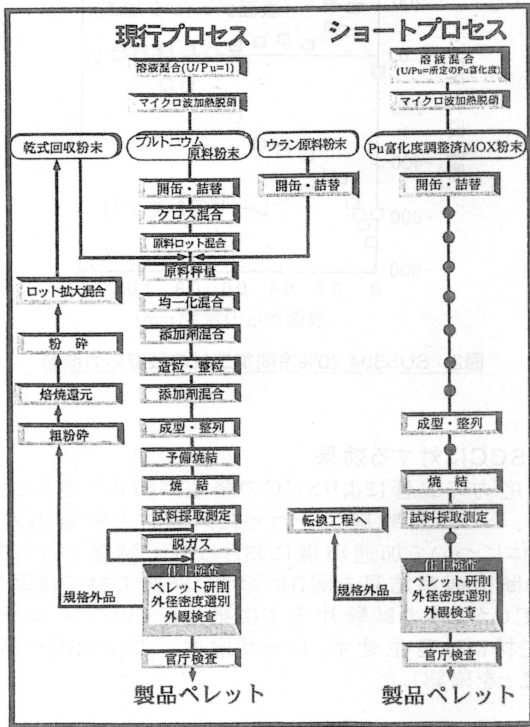


図3 ペレット製造プロセスの比較

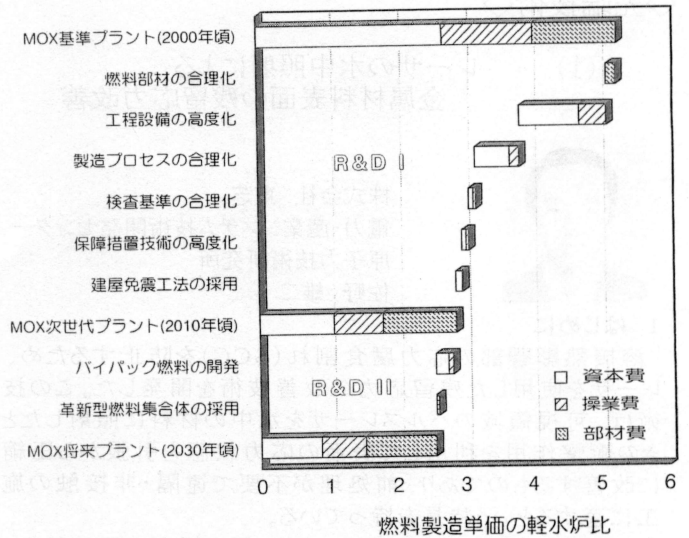


図4 FBR 燃料製造単価の低減効果の試算

3.2 バイパック燃料製造技術

再処理から得られたウラン、プルトニウム溶液から直接 MOX 顆粒を製造し、これを振動充填法により燃料ピンに加工するバイパック燃料の開発は、包蔵設備内への燃料飛散防止、被ばく低減、工程内滞留の低減、さらには工程の簡素化等の期待がかかる。顆粒製造の候補技術として、湿式法では外部ゲル化法や内部ゲル化法、乾式法では噴霧熱分解法が挙げられる。

バイパック燃料については、ペレット燃料の実用化に伴い過去において一旦開発を中断した経緯があるものの、現在、経済性向上と超ウラン元素 (TRU) 含有燃料の有力な製造法として注目されており、海外との共同研究による製造試験を実施している。再処理方式と整合を取った顆粒製造法の確立と照射挙動の評価が今後の課題である。

3.3 製造技術の経済性の見直し

上記 3.1 および 3.2 で述べた技術開発の成果がもたらす製造コスト低減の効果を図4にまとめる。「もんじゅ」燃料製造経験等を参考にした現状技術レベルの製造単価が軽水炉ウラン燃料の製造単価の 5.3 倍になるのに対して、工程設備の高度化、検査基準の合理化、ショート・プロセス等比較的早い時期に実現可能な技術を取り込んだ次世代プラントでは、3 倍程度までに低減できることが分かった。さらに、バイパック燃料等の革新的な技術を取り込んだ将来プラントでは、2.6 倍までに低減できるとの見直しを得ている。

なお、再処理単価で 2.5 倍、燃料製造単価で 3.0 倍の目標値を達成すれば、FBR の燃焼度が軽水炉よりも高いことおよび FBR 燃料製造が軽水炉サイクルにおける U 購入から UO₂ 燃料製造までの役割を担っていること等の理由により、FBR の燃料サイクルコスト (円/kWh) が軽水炉のそれと同等となる。

4. 環境負荷低減を目指した FBR 燃料サイクル技術の開発
環境負荷の低減を目指すシステムとして、高レベル廃棄物と

して処分していた TRU および長半減期の核分裂生成物 (FP) 等を分離・回収し、リサイクルする概念がある。一例として、TRU と希土類元素 (RE) をリサイクルする燃料サイクルシステムの概念を図5に紹介する。システムは低除染再処理工程とバイパック燃料製造工程を基本に、TRU 分離工程 (TRUEX 工程) を付加したものである。Np は U、Pu と共に回収され、Am、Cm および RE は TRUEX 工程より回収される。両者はドライバ燃料と一緒に顆粒燃料に製造され、炉心に均質装荷される。

これまでに、Np については、PUREX 法の改良によりほぼ全量で Pu 製品中に回収できることを確認している。また、TRUEX 工程の改良により、高レベル廃液中の Am、Cm を 99.9% 以上の効率で回収できる見通しを得ているが、同伴するランタニド元素との経済的な分離技術の開発が今後の課題である。

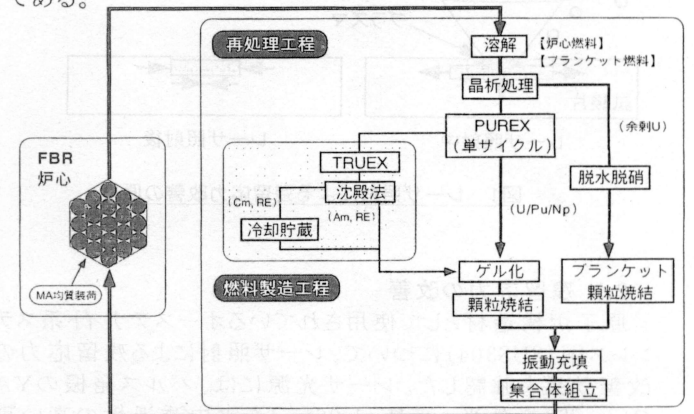


図5 環境負荷の低減を目指した FBR システム例

5. おわりに

今後、実用化を目指した FBR サイクルシステムの開発に当たっては、従来技術に捕らわれず幅広い選択肢を評価、比較して、FBR と燃料サイクルの整合性を図った経済的な FBR サイクルシステム像を構築、提案することが最も重要である。さらに、TRU や FP の積極的なリサイクル等、放射性廃棄物の低減を通じて環境負荷を低減することも重要な視点として FBR システムの開発に取り組んでいく。

◇先端技術◇

(1) レーザの水中照射による
金属材料表面の残留応力改善



株式会社 東芝
電力・産業システム技術開発センター
原子力技術研究所
佐野 雄二

1 はじめに

溶接熱影響部の応力腐食割れ(SCC)を防止するため、レーザを使用した残留応力の改善技術を開発した。この技術は、可視領域のパルスレーザを水中の材料に照射したときの衝撃作用を利用して表面の応力状態を引張から圧縮に改善するものであり、前処理が不要で遠隔・非接触の施工に適するという特長を持っている。

本稿では、原理と効果を中心に技術の概要を述べた後、沸騰水型原子炉(BWR)の炉内構造物への適用を想定した施工装置の開発、および実規模の模擬炉内構造物を使用した水中での遠隔施工試験について報告する。

2 レーザ照射による残留応力の改善

2.1 原理

レーザ照射による残留応力改善の原理を図1に示す。パルス幅10ns(10^{-8} 秒)程度の強いレーザ光を材料に照射すると、表面に高圧のプラズマが発生する。水中では水の慣性によってプラズマが狭い領域に閉じ込められるため、プラズマの圧力は数GPaに達する。この圧力によって衝撃波が発生し、材料中を伝播する。衝撃波による動的な応力が材料の降伏応力を越えると塑性変形が生じ、周囲の弾性拘束により表面に圧縮応力が形成される。

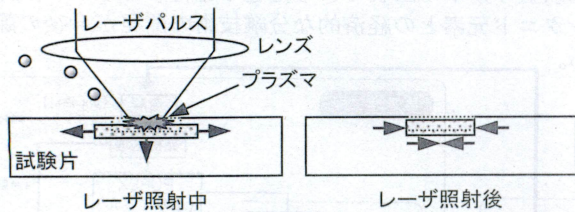


図1 レーザ照射による残留応力改善の原理

2.2 残留応力の改善

原子炉構造物として使用されているオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)について、レーザ照射による残留応力の改善効果を確認した。レーザ光源には、パルス発振のYAGレーザ(赤外光、波長 1.06 μ m)を水中透過性の高い可視光(緑色、波長 532nm)に変換して使用した。原子炉内での中性子照射による材料の硬度上昇を模擬するため、試験片に20%の冷間加工を施すとともに、グラインダ加工を行って表面に引張応力を付与した。残留応力値はX線応力測定法によって測定し、電解研磨を繰り返して深さ方向の応力分布を求めた。

パルスエネルギー 200mJ、照射スポット径 0.8mm ϕ で試験片表面に一樣にレーザ照射施工したときの結果を図2に示す。レーザの照射により表面から約1mmの深さにわたって圧縮応力が形成され、十分な応力改善効果があることを確認した。

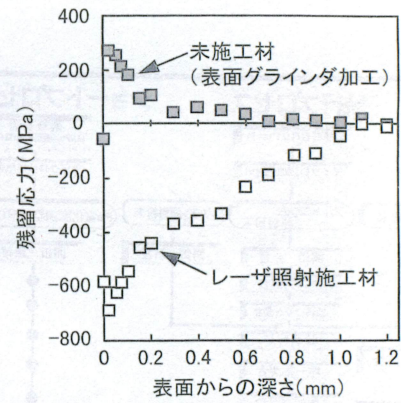


図2 SUS304 20%冷間加工材の残留応力改善

2.3 SCCに対する効果

残留応力の改善によりSCCの発生が防止できることを示すため、レーザ照射施工を行った試験片と未施工の試験片各5体について加速環境におけるSCC試験を行った。試験片の断面観察結果を図3に示す。未施工材では図3と同様なSCCが5体の試験片全てに発生していたが、レーザ照射施工材には発生せず、レーザ照射によってSCCが抑制できることを確認した。

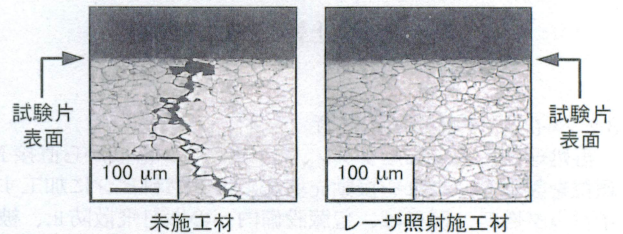


図3 SUS304に対するSCC試験の結果

3 BWRシュラウド施工装置の開発

レーザは遠隔施工に適し、空間的に余裕の少ない箇所へのアクセスが比較的容易なため、原子炉施設の予防保全、補修作業への適用が期待されている。我々は、他の方法では施工が難しいBWRシュラウド外面の溶接熱影響部に対して、遠隔でレーザを照射して表面の残留応力を改善する装置を開発した。

施工装置の構成を図4に示す。アニユラス部と呼ばれる原子炉容器とシュラウドの間隙に施工ヘッドを挿入し、シュラウド溶接線にアクセスする。レーザ光は水密パイプとミラーで構成された伝送路内を約40m伝送され、溶接熱影響部に照射される。ここで、パルス毎のレーザの照射位置は0.1mmの精度で制御する必要があるため、振動などの外乱を自動的に補正するアライメント装置と精密走査機構を開発して使用した。

4 実規模水中試験による遠隔施工

開発した施工装置の実プラントへの適用性を評価するため、原子炉構造物の実規模モデルを使用した水中組合せ試験を行った。施工装置をアニユラス部へ挿入し、模擬シュラウド溶接線熱影響部に設置した試験片にアクセスした。レーザの照射終了後、水中から試験片を回収して表面の応力値を測定し、遠隔施工による残留応力の改善効果を確認した。試験の様子を図5に示す。

(2) WE-NET 技術開発の現状

(財)エネルギー総合工学研究所
WE-NETセンター 大野 哲雄

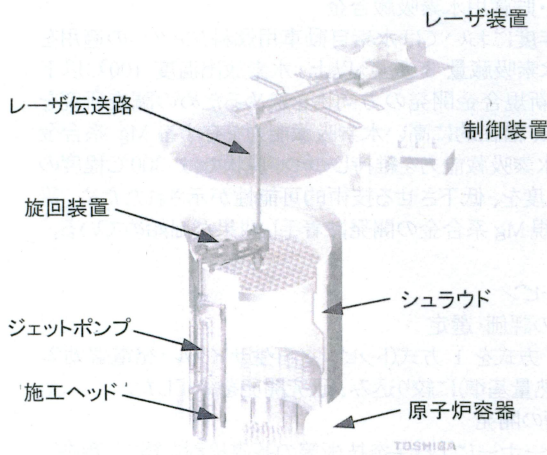


図4 BWRシュラウド施工装置の構成

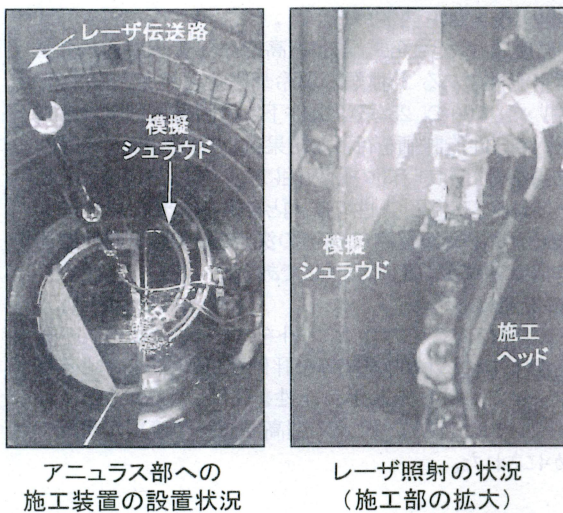


図5 実規模モデルを使用した遠隔施工試験

5 おわりに

ステンレス鋼(SUS304)にレーザーを直接水中で照射することにより、表面から深さ約1mmにわたって残留応力の改善が可能であり、SCCの発生が防止できることを確認した。また、BWR炉内構造物の施工を想定した実規模の水中組合せ試験を行い、遠隔で残留応力の改善が可能なることを実証した。

我々はこれまでに、ステンレス鋼の他、ニッケル基合金や低合金鋼に対してレーザー照射による残留応力の改善を確認しており、その原理から種々の金属に対して効果があると考えている。また、金属材料表面の残留応力の改善は、SCC対策の他、疲労強度の向上にも効果が高いことが知られており、レーザーの特長を生かした応用が期待されている。

文献

- (1) 佐野雄二, 他: レーザーピーニング現象の観察とモデル化, レーザー研究, 26[11], 793 (1998).
- (2) Sano, Y., et al. "Laser Peening: A Novel Tool to Improve Residual Surface Stress on Reactor Internals." Proc. of 6th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-6), San Diego, California, May 1998.
- (3) Sano, Y., et al. "Residual Stress Improvement in Metal Surface by Underwater Laser Irradiation." Nucl. Instrum. & Methods Ph

はじめに

WE-NET プロジェクトは、本年度(1998 年度)で第 I 期研究開発計画の最終年度を迎えた。すでに産業技術審議会評価部会によるプレ最終評価も実施され、その評価結果を受けて WE-NET 第 II 期研究開発計画が検討され、水素燃焼タービンを別プロジェクトとする形で、WE-NET プロジェクトは継続実施される事となった。

本稿では、WE-NET プロジェクトで取り組んだ水素エネルギー技術開発の主要な成果を紹介する。

1. 全体システム概念設計—経済性検討

WE-NET システムにおいて、輸送媒体として液体水素、メタノール、アンモニアを用いるケースにつきシステム設計を行い、経済性評価を行った。各システムの構成を図 1 に示す。

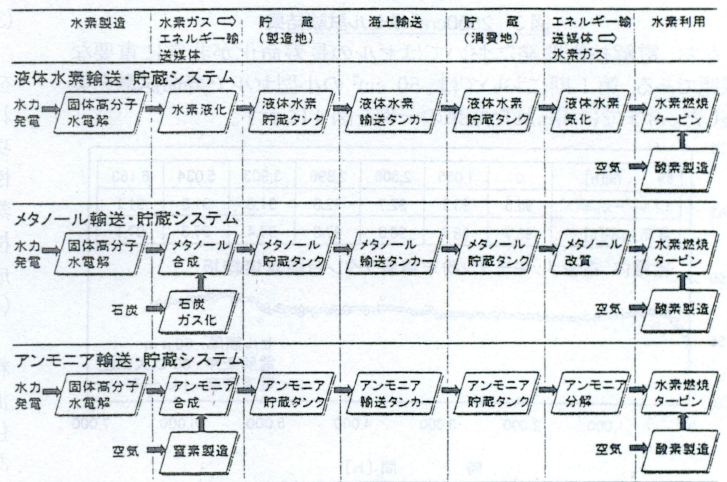


図1 液体水素・メタノール・アンモニアシステムの構成

最終年度における見直し評価の結果、液体水素を用いたシステムの日本での発電コストとして 25.5 円/kWh という結果を得た(図2)。この値は、今後の技術進捗および各種前提条件の見直しにより更に低下するものと期待されている。

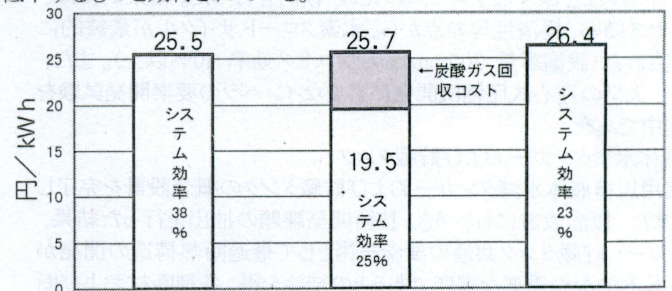


図2 WE-NET 各システムの発電コスト比較

2. 水素製造技術

高分子電解質膜を用いる水電解技術の第 I 期における主要な研究課題は、電解質膜/触媒電極/給電体間の接触抵抗を下げ、電解セル内でのエネルギー損失を小さくするような界面結合をつくり出すための技術開発である。このために、4 つのセル製作技術について競争開発方式で研究を進めてきており、50 cm² スケールでの結果をもとに、4 種のセル製作技術を評価し、性能および将来の大型化の観点からポテンシャルの高い、無電解メッキ法及びホットプレス法、の 2 種を選定した。50cm² の研究室スケールの電解セルでの研究結果では、概ね、電流密度 1A/cm² でエネルギー効率約 90%の値が得られており、一部98%という驚異的高効率のデータも得られている。また、

2500 cm² にセル製作およびスタック化の検討も実施されており、現在 2500 cm² の単セルについて性能評価を行ない、無電解メッキ法では厚さ 125 μm の固体高分子電解質膜を用い、80℃、1A/cm² でエネルギー変換効率 89.5%を、またホットプレス法では 100 μm の膜を用い同条件でエネルギー変換効率 93.2%の値を得ている(図 3)。

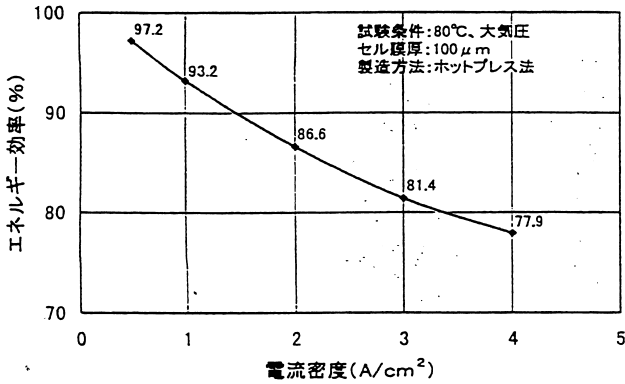


図 3 2500cm²単セル試験結果

なお、電解技術開発においてはセルの長寿命化が非常に重要な課題である。第 I 期においては、50 cm² の小型セルで寿命試験を実施した。今までに得られた成果の一例を図 4 に示す。

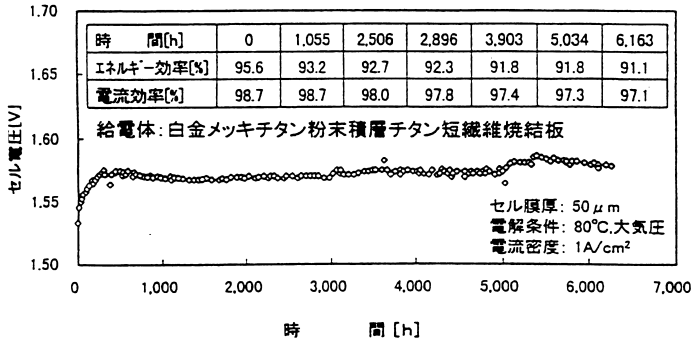


図 4 50cm²セル耐久性試験結果

3. 水素輸送・貯蔵技術

(1)水素液化技術

大型で高効率な水素液化設備の最適プロセスを得るために、過去に実績のあるプロセスだけに限定せず、ネオンサイクル、混合冷媒サイクルなど様々なプロセスの比較・検討を行った。結果的には、プロセス効率、経済性等の点から、水素クロードサイクルが最終的に選定された(設備容量 300ton/day、プロセス効率 40%以上)。また、現在、大型の遠心式圧縮機開発に必要なインペラの要素開発試験を実施中である。

(2)液体水素タンカーおよび貯蔵タンク

実用規模液体水素タンカーおよび貯蔵タンクのご概念設計を完了した。また、概念設計にもとづき、技術開発課題の抽出を行った結果、タンカー、貯蔵タンク共通の要素技術として最適断熱構造の開発が最も基本的かつ重要な課題であるとの結論を得、各種断材および断熱構造体の断熱性能評価試験を液体水素雰囲気下で実施中である。

(3)低温材料

液体水素輸送・貯蔵設備用候補材料として、SUS304L、SUS316L および A5083 の三種を選定し、液体ヘリウム雰囲気下での各種特性試験(水素脆化試験を含む)を行った結果、母材よりも溶接部において脆化が顕著に生じ、溶接部の制御が重要であることが明らかとなった。試験結果の解析より、3種の既存材料は、母材としては液体水素雰囲気下で十分に耐えるが、溶接部については母材に比べ格段に低温靱性が劣化し、また SUS304L、SUS316L 溶接部については水素チャージにより水素脆化が起こることが確認された。このため、溶接材料および溶接法の改善あるいは開発が必要であることが明らかとなった。

(4)水素分散輸送・貯蔵用水素吸蔵合金

平成 5~8 年度においては水素自動車用燃料タンクへの適用を前提とした有効水素吸蔵量 3 重量%以上、水素放出温度 100℃以下の性能を有する新規合金開発の方向性を決めるための調査研究を行った。その結果、潜在的に高い水素吸蔵能力を有する Mg 系合金について、高い水素吸蔵能力を維持しつつ、現状では 300℃程度の高い水素放出温度を、低下させる技術的可能性が示されたため、平成 9 年度から新規 Mg 系合金の開発に着手し成果が出始めている。

4. 水素燃焼タービン

(1)最適システムの評価・選定

1996 年度に 3 方式を 1 方式(トッピング再生サイクル;発電端効率 61.8%、高位発熱量基準)に絞り込み、研究開発を終了した。

(2)燃焼制御技術の開発

小型モデルバーナーによる保炎技術等の基礎検討を経て、現在、3 種類の燃焼器につき、実機(500MW)の 10 分の 1 スケール燃焼器を製作し、1700℃、25 気圧条件下での性能評価試験を成功裏に終了し、最適燃焼器を選定した。

(3)主要構成機器の開発(動・静翼)

タービン入口温度 1700℃、発電端効率(高位発熱量基準)60%以上を達成する上で可能性のある 3 種類の翼冷却構造を選定し、それぞれの試験翼を用いた 1700℃、25 気圧条件下での高温翼列試験を成功裏に終了した。冷却性能評価を行った結果、3 方式ともほぼ同等の性能との評価結果を得た。長時間の耐久性については冷却技術と遮熱コーティング、母材の高温耐久性の課題とを組み合わせた総合的な検討が必要であるため、最適翼冷却構造の決定という第 I 期目標達成は第 II 期の前半に持ち込まれる見通しである。

(4)超高温材料の開発

セラミックス系複合材料、C/C コンポジットを含む 5 種類の候補材料につき、超高温下での機械的強度等を評価し、1700℃を越える高温域で用いるタービン部材への適用可能性を評価した結果、いずれも試験ピースレベルでは 1700℃をこえる超高温域への適用が可能であることが明らかになった。

5. その他の利用技術

ここでは、分散型利用技術について WE-NET プロジェクトで取り組むべき課題を明らかにするための調査研究を行なった。その結果次の 4 つの課題が抽出され、それぞれ研究開発課題等が明らかにされた。第 II 期計画では、これらの小規模・分散型の利用技術にも重点をおいた開発が行われることになっている。また、水素ディーゼルに関しては 1997 年度より先行的に要素技術開発に着手した。

①動力発生技術(水素ディーゼル・コージェネレーションシステム)

②水素自動車(燃料電池車)

③純水素供給固体高分子型燃料電池

④水素供給システム(水素供給ステーション)

なお、第 II 期において開発予定の水素供給ステーションのうち、固体高分子型水電解を用いるシステム例を図 5 に示す。

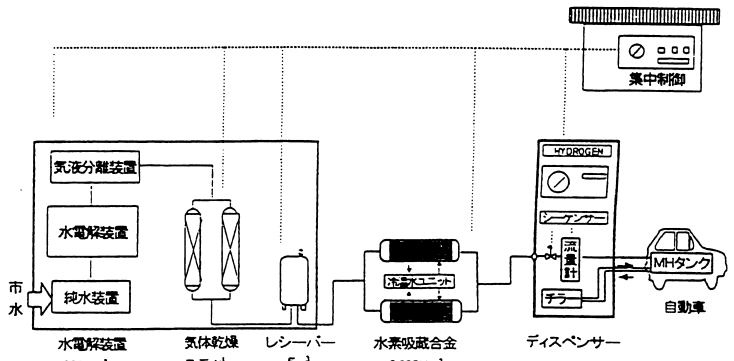


図 5 水電解+水素吸蔵合金貯蔵設備型の水素供給ステーション概念図

◇国際会議報告◇

第2回高温エネルギー変換システムおよび
関連技術に関する国際シンポジウムの概要報告
2nd International Symposium on Advanced Energy
Conversion Systems and Related Technologies (RAN98)
1998年12月1~3日(名古屋)

名古屋大学高温エネルギー変換研究センター
新井 紀男

名古屋大学高温エネルギー変換研究センターと化学工学会の主催で、第2回高温エネルギー変換システムおよび関連技術に関する国際シンポジウム(RAN98)が1998年12月1~3日に名古屋大学シンポジウムを主会場として開催された。

本シンポジウムは、ガスタービンやボイラー、エンジンといったエネルギー変換技術に加えて廃棄物処理技術や計測技術も含めた、エネルギーと環境問題に対する研究および技術開発に関して議論することを目的としたシンポジウムである。参加者数は国内から189人、海外からは18ヶ国から62人の計251人であり、当初の予想を上回る盛会となった。



開会式

研究発表は、テーマセッション、一般セッション、特別セッションおよびポスターセッションに分けて行われ、活発な意見交換が行われた。発表件数は招待講演15件を含め計126件であった。各セッションの内容と発表件数を表に示す。燃焼技術、排煙処理技術、廃棄物燃焼・処理技術、最先端計測技術、新規材料等研究内容は多岐にわたったが、いずれのセッションにも多くの参加者が集まり、エネルギー・環境問題に対する関心の高さが感じられた。

セッション名	発表件数	セッション名	発表件数
テーマセッション		一般セッション	
・ガスタービン技術	11	・エンジンおよび関連技術	4
・先端燃焼技術	26	・エネルギーシステムにおける熱および物質移動	10
・廃棄物の燃焼および熱処理技術	14	・ガス浄化技術	6
・エネルギー変換システムにおける計測および可視化技術	9	・エネルギー利用技術	5
特別セッション		・石炭利用技術	5
・WE-NET	6	ポスターセッション	31

閉会式では、若手研究者の育成という観点から、各セッションの座長による審査に基づいて、3名の学生発表者にRAN98論文賞が副賞とともに授与された。次回は2000年にRAN2000として米国にて開催する予定である。

◇研究分科会◇

日本機械学会 動力エネルギーシステム部門講習会 98-47
「配管内円柱状構造物の流力振動評価指針」開催報告
企画第1委員 西原 崇(電中研)、奈良林 直(東芝)

1998年10月9日に98名の参加者を得て日本機械学会会議室にて本学会が新たに定めた「配管内円柱状構造物の流力振動評価指針」の講習会が開催された。

原子力発電、火力発電、などの種々な工業プラントの流体の流れる配管内においては、センサーとして温度計など、円柱状構造物を配管に挿入する。その際、構造物には流れによって誘起される流力振動が生じ、その振動が著しい場合には破損に至る場合がある。設計者は長年、この流力振動の回避や抑制に努めてきたが、ASMEの指針を含めて十分に体系だって整備されていないのが現状であった。本指針は、1997年4月に発足した本部門所属の基準原案作成委員会により、とりまとめられ、我が国において種々な構造物の流力振動評価に関する基準を作成していく活動の第一歩として、一様流中に置かれた円柱状構造物の流れによって励起される振動に対する評価方法を定めたものである。

指針の作成経過と「円柱構造物周りの流れ」について、金沢大学工学部の岡島厚教授の解説があり、次いで、東京大学原子力工学研究施設の班目春樹教授より「円柱構造物の流力振動」と「本指針の特徴」について詳しい講演があった。

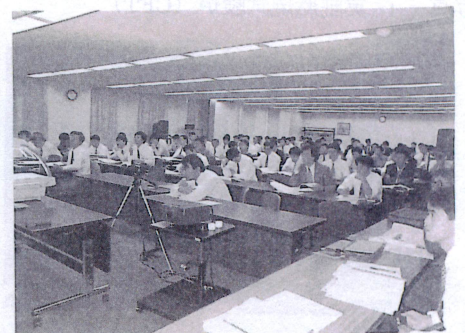
後半は、実務レベルから「適用範囲と各種パラメータの算定」「同期振動の回避と抑制」「流体力による応力」について三菱重工業(株)神戸造船所原子力設計部の鈴木盛喜課長、(株)日立製作所電力・電機開発本部の中尾俊次主任研究員、(株)東芝原子力技術研究所の斎藤登主査より順に説明があった。最後に、指針にCD-ROMで添付されている「指針ソフトウェア」の取り扱い説明とデモンストレーションが班目教授よりあり、「今後の課題」と題して岡島教授が締めくくられた。

特にCD-ROMに納められた動画やFEMソフトのデモは好評であり、当日参加できなかった方々も本指針 JSME-S012-1998 は7,000円で丸善から発売されており、本学会に問い合わせれば入手可能であるので、ぜひ購入をお奨めする。



写真1 講演中の班目教授

写真2 満席の会場



◇研究室紹介◇

石川島播磨重工業 (株) 電力事業部相生工場
開発・実証 (D&D) パーク

所在地 〒678-0041 兵庫県相生市相生 5292 番地
TEL 0791-24-2736 FAX 0791-24-2791

1. はじめに

石川島播磨重工業 (株) 電力事業部では相生工場 開発・実証パーク内に、これまで4機種の試験装置を、稼働させています。

- (1) 実証燃焼試験炉 (CFT)、基礎燃焼試験炉 (基礎炉)、堅型円筒炉 (PIT)
- (2) 石炭ガス化試験装置 (CGT)
- (3) 加圧流動層燃焼試験装置 (PFT)
- (4) 排煙処理試験装置 (DST)

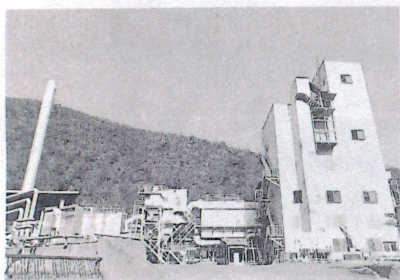
これらの試験装置は、電力事業部の担当する機種の技術開発、改良研究のため、基礎試験データの取得、あるいは実証試験データを得るため試験装置の、運用を行っています。

2. 前年度の試験、研究内容

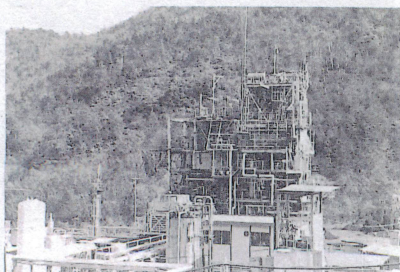
- (1) CFT: (堅型ホップボトム型常圧水冷炉、燃焼容量石炭 2000kg/h)
低揮発分炭の燃焼試験、堅型ミルでの超微粉炭製造試験など。
- (2) CGT: (加圧一段噴流床式、石炭処理容量 6T/日)
モーラ炭、スカイライン炭の、ガス化・脱硫試験など。
- (3) PFT: (加圧流動層燃焼方式バブリング型、熱入力 3MWt)
試験炭、4炭種の加圧流動層燃焼試験など。
- (4) DST
高濃度 SO₂ ガスの脱硫性能試験など。

3. まとめ

D&D パークには、電力事業部の大型研究開発設備が集中して、設けられており、試験も頻繁に行われています。これらの設備を使用して、電力事業部担当機種の技術的なバックアップを行っていくことと、しています。



写真一 実証燃焼試験炉 (CFT)



写真二 石炭ガス化試験装置 (CGT)

◇地区便り◇

動力エネルギーシステム部門
平成10年度見学会報告

関西電力 (株)
原子力設計工事課
押部 敏弘

平成10年度の見学会では、10月15日 (木) に兵庫県の播磨科学公園都市に建設された「SPring-8」の見学を行いました。見学会参加者は、約20名程度と当初予定した人数よりも少ないこととなりましたが、少人数のせいとお互い和気藹々で見学することが出来たように感じられます。

「SPring-8」は日本原子力研究所と理化学研究所が共同で建設を進めてきた大型放射光施設です。平成3年から建設が進められ、平成9年3月に放射光の発生が確認、平成9年10月には供用開始されました。現在は、平成2年に設立された (財) 高輝度光科学研究センターが管理運営を行っています。

「SPring-8」の概要を説明します。「SPring-8」は Super Photon ring-8 GeV の略称であり、第3世代の大型放射光施設です。第3世代と呼ばれる放射光施設は、専用の加速器にアンジュレータ主体の挿入光源を多数設置 (出来るように設計) された施設のことです。大型のものは世界にESRF (ヨーロッパ12ヶ国がグルノーブルに設置)、APS (米国)、「SPring-8」の3つがあります。「SPring-8」はその中でも最高性能を持つものです。

「SPring-8」の放射光の特徴としては、以下の内容が挙げられます。

- ・ 真空紫外線からX線までの広い波長範囲 (0.01~2nm) で世界最高の輝度
- ・ 優れた指向性 (100m先で2.4mmの拡がり)
- ・ 挿入光源を多数設置でき (38台)、これらの光を同時に利用可能
- ・ 長い磁石列を持つ挿入光源 (通常の4.5mに対し30m) の設置が可能

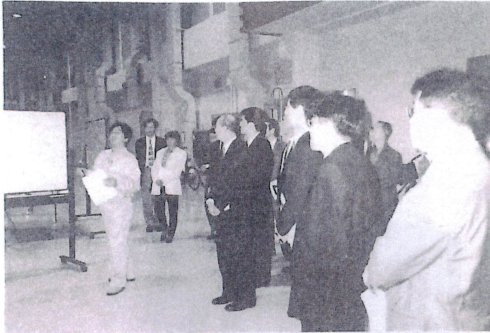
「SPring-8」は総数61本のビームラインを設置することが出来、現在そのうちの16本が稼働中、22本が建設中もしくは計画中となっています。ビームラインの種類としては、共用ビームライン (原研・理研が建設し、国内外の研究者が共同で利用)、専用ビームライン (特定の機関が自前で建設し、専有して利用)、原研・理研ビームライン (原研・理研の独自研究で利用他) の3種類があります。利用研究分野としては、物質科学、地球科学、医学、生命科学等多岐に亘り、様々な条件下 (高温、高圧、強磁場等) での高輝度なXAFSやX線回折などの実験が可能な施設です。

本見学会では、まず「SPring-8」の紹介ビデオを見、施設の概要説明をお聞きしました。その後、エネルギーの高い電子ビームを安定して得るため、設備上どのような工夫をおこなっているか等、展示機器を使つての説明を聞き、実際に管理区域内に入ってビームラインの1つを見学しました。周長1,436mの大型機器であるにもかかわらず、放射光の指向性は100m先で2.4mmの拡がりど驚くべき精巧な施設で、参加者の方々もその設計上の創意工夫に感心

された様子でした。

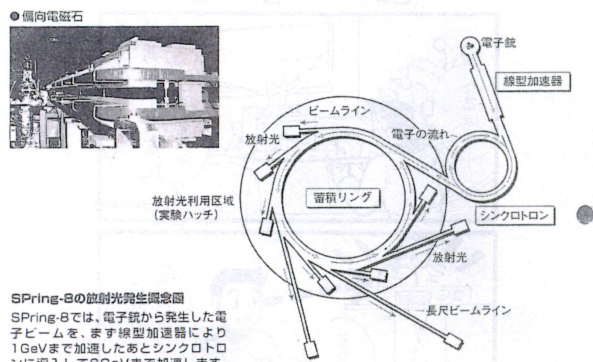
また、共用ビームラインの利用については、半年毎に研究課題の募集が行われ選定されれば使用が可能となります。得られた研究成果を公開する場合には、ビーム使用料が免除されるということで、使用に興味を示された参加者の方もいたようです。(ちなみに、1年間の電気代だけでも20数億円かかるそうです)

「SPring-8」の見学希望者は多く、私たちが見学した日も午後だけでの2グループが見学するという過密スケジュールであり、施設規模の割に2時間程度という短い見学時間となってしまいましたが、有意義な時間を過ごせたのではないかと思います。



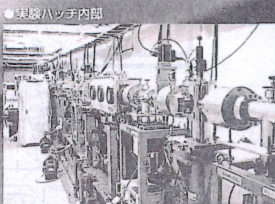
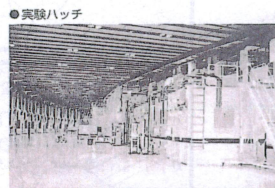
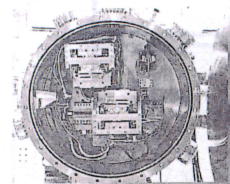
世界最高レベルの放射光発生

SPring-8の



●SPring-8の放射光発生概念図
SPring-8では、電子銃から発生した電子ビームを、まず線型加速器により1GeVまで加速したあとシンクロトロンに導入して8GeVまで加速します。この電子ビームを蓄積リングに導入し、8GeVのエネルギーを維持させながら、偏向電磁石や挿入光源により放射光を発生させます。発生した放射光は、ビームラインを通して、蓄積リング内外に設けられた放射光利用区域に導かれ、いろいろな実験に利用されます。

●SPring-8アンジュレータ用標準型分光器
分光器結晶表面の発熱対策のためにSPring-8で新しく開発されたもので、水冷されたSi単結晶が、傾斜制御で発熱できる機構を持っている。



◇平成10年度部門賞受賞者の所感◇

部門賞を受賞して

武蔵工業大学原子力研究所
所長 大木新彦

この度は日本機械学会動力・エネルギー部門の功績賞を頂戴いたしました大変光栄に存じております。

昭和31年(株)日立製作所に入社し、希望していた原子力の開発に携わり、電力会社に日立がお納めした殆どの沸騰水型原子力発電プラントの計画・設計に関係して参りました。わが国の原子力エネルギー開発に少しでも直接的にお役に立てたことは大変嬉しく思っております。特に、印象の深いのは東京電力柏崎・刈羽原子力発電所の6,7号機に採用されたABWRの開発です。昭和50年代の前半に国際設計のため米国、日本、スウェーデン、イタリアのBWRメーカーの参加で発足したAdvanced Engineering Teamに加わり、現在のABWRの原型設計を行い、さらに、日本バージョンの取り纏めが出来たことです。その間に多くの国外の技術者と議論が出来て、各国の設計に関する考え方の勉強が出来ました。昭和61年よりは(社)日本電機工業会で原子力メーカー、電力会社、関連官庁との調整業務を行いました。当時は原子力反対運動が盛んになり始めた時期で、「国民の皆様への原子力PA」と言う大きな命題に大勢の方々と一緒に努力したことが苦しくも楽しい思い出であります。

平成4年から武蔵工業大学で研究・教育に携わる機会を戴きました。大学院原子力工学専攻で原子力システム工学の科目を担当すると共に原子力研究所の運営・管理業務を行っております。次世代を担ってくれる若いエンジニアを育てるためのお手伝い出来る喜びと責任を感じております。最後になりましたが、動力・エネルギー部門の益々のご発展をお祈り申し上げます。

部門賞を受賞して



東北電力株式会社
取締役副社長 須藤義悦

昨年の秋、名誉ある日本機械学会動力エネルギーシステム部門功労賞を頂戴し、心から感謝申し上げます。

私は1957年に東北電力へ入社以来、主として電源部門に従事火力発電や原子力発電の計画、建設およびメンテナンスなどを行ってまいりました。

当初石炭を主燃料とした火力発電は、天然ガスや重原油を使用するようになり単機出力も大きくなりました。また、環境対策設備の高度化が進みクリーンな発電所のイメージが広がりました。1984年に熱効率向上を目指した新しい発電方式の複合発電を東新潟で運用開始致しました。これは事業用大容量ユニットとしては世界初で、従来の発電方式から10%の熱効率の向上を達成し44%台を得ました。以来十数年経験を

積みながら研究開発を続け、この度長年の夢であった熱効率 50%を越す複合発電を採用致しました。現在東新潟で試運転中ですが 1999 年 7 月には運用開始する予定です。

現在でも火力発電は電力の安定供給に重要な責務を果たしておりますが、二酸化炭素などの環境保全の問題や電気料金の引下げ要望などに対応するため、今後益々高効率化および発電コストの低減を求められます。

引き続き皆様のご支援を得て、一層努力し全力で取り組みますので宜しくお申し上げます。

部門賞を受賞して

日本鑄鍛鋼株式会社
会長 丹羽高尚

この度、動力・エネルギーシステム部門から功績賞を頂き、身に余る光栄であると無感量の思いでございます。

私は昭和 28 年から 40 年間、三菱重工業に於いて、主に蒸気タービン、ガスタービンの事業に携って参りました。この間、大小さまざまな技術上の課題の解決に追われ、社の内外からのガスタービンに対する不信感を払拭しきれずにいたにも拘らず、省エネルギー問題、環境問題の高まりの中で将来の発電設備の主流が原子力とコンバインドサイクルになると固く信じ、国内、海外の発電事業のかたがたに懸命にコンバインドサイクルの将来性を説いて廻ったものであります。

この分野の仕事から離れて早や 5 年有余が経ち、最近の動きは詳しくは承知しておりませんが、世界中でコンバインドサイクル発電のことが当然のことに受け入れられていると聞いております。

ガスタービンに対する不安感やら反対意見が根強く残っていた頃からコンバインドサイクルを推進したことに誤りが無かったと、当時は振り返って嬉しく思っておりますと共に、このことが功績賞を頂く理由であったのではないかと考えております。

地球環境問題が益々厳しく議論されている現在、二十一世紀には水素燃焼コンバインドサイクル設置の方向に向うべきではないかと夢見ております。

簡単ではございますが、受賞の御礼の挨拶とさせていただきます。

◇セミナー&サロン特別講演概要◇

(1) 地球環境とターボ機械

工学院大学学長 大橋秀雄

我が家を例にとって、家庭における電力使用の歴史を振り返ってみた。電灯、テレビに始まり、昨今では拡大するエアコンの普及率に象徴されるように、電力消費量は伸びる一方である。この電力消費を支えているわが国の発電は、水力、火力、それも最近では ACC、そして原子力、さらには風力、ソーラーエネルギー、地熱など様々なエネルギーソースがカ

クテルのように配合されている。

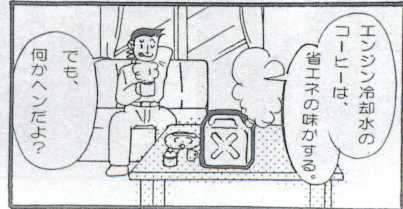
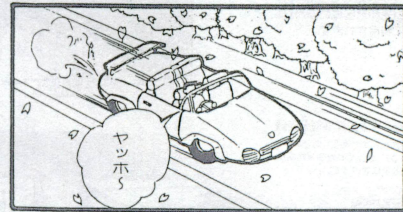
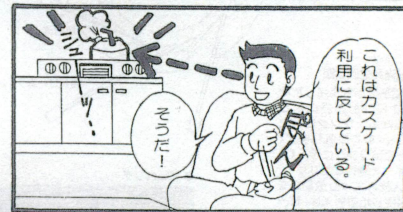
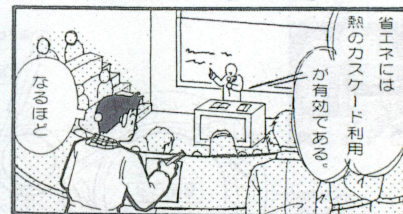
ターボ機械は、翼の働きによって流体から有効にエネルギーを取り出す魔法の円盤であるが、この「翼」が実際には発電を担っており、更にエネルギー変換効率の限界に挑む研究開発が進んでいる。

また、従来の集中して発電、配電網を通して供給する方式だけでなく、天然ガスなど燃料の供給網を充実させてオンサイトで発電する方式も増えており、インフラの形成が重要な要素になってきている。

最近の地球温暖化問題を中心に環境教育の重要性が高まっているが、持続的発展のためには地球環境科学の発達が必要なのは言うまでもない。科学者、技術者の質の向上、そしてそれを支えるステータスをわが国でも早急に確立する必要がある。



省エネ君



(2) 地球環境と都市エネルギーシステム



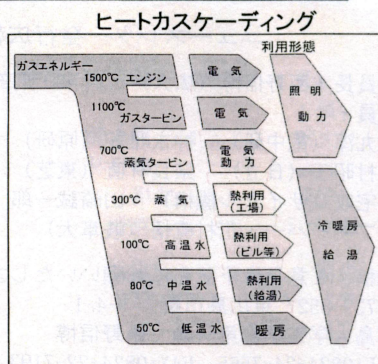
東京ガス株式会社
鍵山一郎

都市ガス業界は地球温暖化問題に対して、原料を天然ガスに転換するなど製造・供給段階における取り組み、天然ガスの普及促進、利用機器の効率向上など消費段階における取り組みにより 2010 年に 1990 年比 15%のエネルギー利用効率向上を目指している。

この中でも、天然ガスの持つクリーン性のメリットを活かし、そのエネルギーを最大限使い尽くして快適な都市生活を実現するための取り組みが都市エネルギーシステムである。これは、オンサイトでエネルギーを変換し、電気、熱を効率的に運用して一次エネルギーを使い切るシステムであり、それを実現する手法が分散型のコージェネレーションと未利用・再生可能エネルギーの有効活用（ゴミ発電、河川水・下水処理水による冷暖房・給湯、太陽光発電など）の組み合わせである。そのさきがけとして既に大規模地域冷暖房、複合エネルギーシステム、地域対応熱電併給システム（特定電気事業）が実現されており、それらの普及拡大と共に都市レベルでの長期エネルギービジョンに参画して供給インフラを整備してゆくことが今後の天然ガスの役割と認識している。

都市エネルギーシステムの要件

- エネルギー供給の分散化、自立化
- 電気・熱利用に対するエネルギーのカスケード利用
- 都市の快適性、省エネルギー・環境保全



環境調和型・高効率エネルギーシステムの構築

◇国際会議予定◇

(1) 1999年動力エネルギー国際会議
サンフランシスコ大会 IJPGC-ICOPE-99

International Joint Power Generation Conference and Exposition

International Conference on Power Engineering-99 San Francisco

共催 本会動力エネルギーシステム部門, ASME Power Division
中国動力工程学会

開催日 1999年7月25日(日)~28日(水)

会場 Hyatt Regency Burlingame Hotel
(アメリカ・サンフランシスコ)

使用言語 英語

今回のICOPEは米国のIJPGCとの合同開催です。セッションは日米中の合同企画の予定です。

内容

- General sessions : G-1 Power Systems
G-2 Fuel Utilization
G-3 Boilers
G-4 Turbines
G-5 Generators
G-6 Components, Equipment and Auxiliaries
G-7 Operation and Maintenance
G-8 Environmental Protection
G-9 Alternative Energy
G-10 Economics

- Special sessions : S-1 Combined Cycle and Repowering
S-2 Advanced Combustion Technology
S-3 Fuel Cells
S-4 New Materials for Energy System

申込み・問合せ先

〒240-0196 横須賀市長坂2-6-1

(財)電力中央研究所横須賀研究所

プラント熱工学部長 佐藤幹夫

電話 (0468) 56-2121 内401/FAX (0468) 57-5829

E-mail : satomiki@criepi.denken.or.jp

(2) 第7回放射性廃棄物管理・修復国際会議

The Seventh International Conference
on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation
(共催 日本機械学会, 日本原子力学会, 米国機械学会)

開催日 1999年9月26日(日)~30日(木)

会場 名古屋国際会議場(名古屋市)

内容

LOW/INTERMEDIATE-LEVEL WASTE (LILW) MANAGEMENT
HIGH-LEVEL WASTE (HLW), SPENT FUEL, AND FISSILE
MATERIAL MANAGEMENT
FACILITY DECONTAMINATION AND DECOMMISSIONING
(D&D)
ENVIRONMENTAL REMEDIATION (ER)
MAJOR INSTITUTIONAL ISSUES IN ENVIRONMENTAL
MANAGEMENT (EMI)

問合せ先

〒319-1111 茨城県那珂郡東海村

核燃料サイクル機構

東海事業所 環境技術開発部長 大内 仁

電話 (029) 282-1111 内3150/FAX (029) 287-3704

◇副部門長選挙結果報告◇

第76期総務委員会幹事 木下 泉

当部門では、次期副部門長を選挙により選出しており、動力エネルギーシステム部門副部門長選挙要綱により、総務委員会の管理のもと、昨年9月～12月に選挙を実施いたしました。

まず当期運営委員から次期副部門長候補者の推薦を受け、その被推薦者の中から10月1日開催の総務委員会で3名の候補者を選出し、運営委員による投票を行いました。第1回の投票では、過半数を獲得された候補者がなかったため、上位2名による第2回目の投票を行いました。開票の結果、九州大学工学部教授の吉田駿先生が過半数を獲得され、当選となりました。その後、ご本人の承諾を頂きましたので、第77期副部門長は吉田駿先生に決定いたしました。

当部門では副部門長が総務委員会委員長を兼ねることになっており、77期においては吉田駿先生には部門長を補佐して部門運営にあたっていただくのみならず、総務委員長としての重責をも果たして頂くこととなります。

◇部門賞募集◇

1999年度日本機械学会

動力エネルギーシステム部門 部門賞・部門一般表彰
募集要項

本部門では、動力エネルギーシステム分野の進展と活性化を図るため、1991年より部門賞を設けて贈賞して参りましたが、1998年よりこれを部門賞及び部門一般表彰とに分け、さらに1999年より部門一般表彰に貢献表彰を新たに加えることとし、下記の要領で募集いたします。数多くのご応募をお願いいたします。

記

1. 部門賞及び対象となる業績

- ・功績賞：動力エネルギーシステム分野の発展に貢献した個人の永年の功績を讃える賞
- ・社会業績賞：動力エネルギーシステム分野で社会の第一線において顕著な活躍をしている個人、団体を讃える賞

2. 部門一般表彰及び対象となる業績

- ・優秀講演表彰：本部門の企画した行事において、若手研究者、技術者による優秀な発表を行った個人を讃える表彰
- ・貢献表彰：部門の行う行事企画などにおいて顕著な貢献を行った個人、団体を讃える表彰

3. 表彰の方法と時期

審査の上、部門賞及び優秀講演表彰については1999年11月～12月に予定されているセミナー&サロン会場において賞状、メダルの贈与をもって行います。貢献表彰につきましては、適宜、本部門企画行事の場において賞状等の贈与をもって行います。また、受賞及び表彰者名等はニュースレター等に発表いたします。

4. 募集の方法

公募によるものとし、自薦あるいは推薦とします。

5. 提出書類

推薦には、A4判サイズ用紙1～2枚に、(1)推薦者氏名、(2)推薦者所属及び連絡先、(3)被推薦者氏名、(4)被推薦者所属及び連絡先、(5)部門賞の種類または部門一般表彰の種類、(6)推薦理由書、を添えて、下記動力エネルギーシステム部門宛お申し込み下さい。自薦他薦を問いません。なお、優秀講演表彰については、発表論文の写しを添付して下さい。また、同表彰は若手(40歳以下を目安とする)研究者、

技術者を主な対象として設けられたものです。

6. 提出締切り日

部門賞(功績賞及び社会功績賞)及び貢献表彰については常時受け付けております。優秀講演表彰については、原則として1999年4月末日までの到着分を1999年度の審査の対象とし、それ以降の到着分については、次年度の対象と致します。

7. 提出先

〒240-0196 神奈川県横須賀市長坂2-6-1
(財)電力中央研究所 横須賀研究所
副所長 浜松照秀
Tel:0468-56-2121 Fax:0468-56-3444
hamamatu@criepi.denken.or.jp

◇部門ロゴマーク選考結果◇

昨年11月発行のニュースレター17号で動力・エネルギーシステム部門のロゴマークを募集したところ6件の図案が応募されました。そこで、本年1月に広報委員会で投票による選考を行い、優秀作品と佳作(次点)を選びました。そして、総務委員会および拡大運営委員会で了承されましたので、ここでご報告申し上げます。

優秀賞 : 森塚秀人 氏(電力中央研究所)

佳作(次点) : 山本 研 氏(科学技術国際交流センター)

お2人とも本年7月27日の部門同好会で表彰されます。また、優秀賞のロゴマークは本号のニュースレターにも既に掲載されているとともに、ネクタイピンなどの記念品にも用いられることになりました。

(第76期広報委員長: 岐阜大学 花村克悟)

優秀賞のロゴマーク



◇訂正記事◇

NEWSLETTER No. 17 平成10年度部門賞および部門一般表彰の記事中で、功績書受賞者として丹羽高尚氏(日本鑄鍛鋼株式会社 社長)となっておりましたが、(日本鑄鍛鋼株式会社 会長)の誤りでした。ここに、謹んでお詫び申し上げます。

ニュースレター発行広報委員会

委員長: 西野信博(广大) 幹事: 刑部真弘(東京商船)

委員:

犬丸淳(電中研) 神永雅紀(原研) 堂本直哉(石播)

中村昭三(日立) 奈良林直(東芝) 廣田耕一(三菱重工)

三宅収(サイクル機構) 山崎誠一郎(川重)

オブザーバー: 花村克悟(岐阜大)

投稿、ご意見は下記宛にお願いいたします。

〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1

広島大学工学部第一類 西野信博

TEL:0824-24-7565, FAX:0824-22-7193

E-mail: nishino@mec.hiroshima-u.ac.jp

発行所 日本機械学会 動力エネルギーシステム部門

〒160-0016 東京都新宿区信濃町35 信濃町煉瓦館5階

TEL:03-5360-3500, FAX:03-5360-3508

印刷製本 ニッセイエプロ株式会社

コピーライト ©1999 社団法人 日本機械学会

本誌に掲載された全ての記事内容は、社団法人 日本機械学会の許可無く転載・複写することは出来ません。