

NEWSLETTER



POWER & ENERGY SYSTEM

動力エネルギーシステム部門ニュースレター

【第21号】

— 安全と安心 — JCO事故から一年



日本原子力研究所東海研究所
副所長 早田 邦久

日本機械学会の活発かつ、倫理規定の策定など先進的なご活動については、日本原子力学会の一員として日頃より敬意を抱いていたところ、この度、はからずも伝統ある機械学会動力エネルギーシステム部門のニュースレター巻頭言を書かせて頂くことになりました。誠に光栄に思う半面、いささか気軽に引き受けしてしまったことを後悔していますが、衝撃のJCO臨界事故から一年が経った今、原子力界が対峙している課題をご紹介しますことで、幾分なりとも貴学会の参考になればと思います、恥を省みず巻頭言を書かせて頂くことをお許し頂ければ幸いです。

さて、今から丁度一年前の9月30日に発生したJCO臨界事故は、学会、組織、機関等の所属を問わず、原子力利用に係わる者すべてに大きな衝撃を与えました。事故調査の結果明らかになった原因は、あまりにも考えられないことであり、何故未然に防げなかったのかを思うと、支払った代償の大きさや、これまで関係者が原子力開発に注いだ情熱と汗を思うと、今でも大きな溜息が出ます。

わが国の国民生活と経済活動を安定して支え、発展させるためには、原子力エネルギーの利用を今直ちに全面的に否定することができないことは明白です。資源小国であるわが国では、エネルギーの最適な利用を追求することが必要ですが、中でも原子力については、その多様なポテンシャルを活かした利用が望まれている

ます。しかしながら、原子力利用にあたって、安全の確保が求められます。「安全」を確保した上で、国民と社会に「安心」を与えることが、原子力に係わる者全てが果たすべき役割であり、責任でもあります。JCO事故は、その責任が果たされなかったために起きた事故といえます。

本来、「安全と安心」は、国民生活に関連する全ての分野に共通の課題です。最近の食品工業界での毒素や雑物混入事件などは、国民の立場に立って安全が確保されなかった例といえます。それまでに築きあげていた信頼が、一日にして損なわれた実情は、技術者、研究者として、以って他山の石と肝に銘ずべきことでしょう。

戦後、わが国の経済、産業は、幾多の困難を乗り越え、現在では世界有数の経済大国にまで成長しました。これを支えてきたのは、研究者や技術者の技術に対する責任感といわば一途な技術者魂であったのではないのでしょうか。昨今の事件は、このような気概が薄れつつあることを示しているように思えてなりません。先人の築きあげた技術レベルを低下させることなく、さらに発展させて次世代に引き継ぐことは、現代の研究者や技術者の役割であり責任といえます。

技術に対して国民や社会が不信感を持ったとき、わが国には科学技術創造立国はあり得ません。技術に対する不信感を払拭するためには、研究者や技術者は、誰のための研究開発か、技術開発かを忘れることなく、技術開発は、人類の福祉と繁栄のためであることを常に念頭に置くことが肝心です。

20世紀が開発優先の世紀であったとすれば、21世紀は人類の生活や地球環境を守ることを第一に、「安全と安心」が生活の中に満たされる世紀であって欲しいと思います。その実現にあたっては、研究者や技術者が大きな役割を果たすと共に、「安全を確保し、安心を与える」重い責任を負うことは言うまでもありません。

原子力界では、JCO事故から一年を迎えた今、「安全と安心」について、再び気持ちを引き締め、原子力利用に精力を注いでいるところです。貴学会に対しては、今後の益々の発展と人類社会への貢献を期待すると同時に、「安全と安心」を与える研究と技術開発を先導されることを願って止みません。

【目次】

安全と安心—JCO事故から一年	1	地区便り：(1)中国電力大崎発電所	8
特集：燃料電池用石炭ガス製造技術開発の概要	2	(2)波力発電設備と廃棄物発電設備	8
先端技術：(1)燃料電池開発の現状 一川越における研究成果	4	(3)新日鐵八幡製鉄所・電源開発若松総合事業所	9
(2)太陽熱利用によるCO ₂ 含有天然ガス田の活用技術	5	(4)部門講習会00-16「分散型発電設備」	9
国際会議報告	6	欧州からの便り	10
研究分科会活動報告	7	平成12年度部門賞・部門一般表彰	10
研究室紹介	7	副部門長選挙経過報告	11
		国際会議予定	11
		その他	12

◇ 特集 ◇

「燃料電池用石炭ガス製造技術開発 (EAGLE: Coal Energy Application for Gas, Liquid & Electricity) の概要」



電源開発株式会社
新エネルギー・技術開発部長
宮坂忠寿

1. はじめに

化石エネルギー資源の中で、石炭は広く世界中に分布し、将来に渡って安定供給が見込める重要な資源と位置付けられている。しかしながら石炭は単位発熱量あたりの二酸化炭素排出量が他の化石燃料に比べて多く、その利用拡大には高効率な利用技術を開発することが必要不可欠である。

一方、熔融炭酸塩形燃料電池 (MCFC) や固体酸化物形燃料電池 (SOFC) などの高効率直接発電技術の開発が推進されており、次世代発電技術として期待されている。これらの燃料電池に石炭を利用する場合、石炭に含有されている灰分、S分、ハロゲン等が支障となるため、これらを除去したガス体燃料にして燃料電池に供給する必要がある。

当社は、石炭ガス化に燃料電池/ガスタービン/蒸気タービンを組み合わせた石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC) システムについての試設計を行い、送電端効率として55% (燃料電池に固体酸化物形燃料電池を用いた場合) もの高い効率が得られることを見出した。

現在、燃料電池に最適な石炭ガス化炉の開発、及び燃料電池に供給可能なガス性状まで精製するシステムの確立を目指し、当社若松総合事業所に石炭処理量 150t/d 規模のパイロットプラントを建設中である。

図1に開発工程を示す。

以下では、本パイロットプラントによる試験研究について、その設備概要及び建設状況について述べる。

2. EAGLEパイロットプラント試験設備概要

表1に主要設備の仕様を、図2に概略フローを示す。

項目	平成年度	10年度	11年度	12年度	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度	18年度
パイロットプラント建設			パイロットプラント建設							
試運転		8月				試運転				
試験運転		工事着工			7月受電		3月	試験運転		解析 7月

図1 燃料電池用石炭ガス製造技術開発工程

表1 EAGLEパイロットプラント仕様

項目	仕様
石炭ガス化炉	酸素吹1室2段旋回型噴流床式
石炭処理量	150t/d
石炭ガス化圧力	2.5 MPa
石炭供給方式	ロックホップ+窒素搬送
ガス精製設備	湿式吸収法 (MDEA)
処理ガス量	14,800 m ³ N/h (吸収塔出口)
S分回収設備	石灰石石膏法
空気分離設備	加圧深冷分離法 (O ₂ :95%)
原料空気量	27,500 m ³ N/h
原料空気圧力	1.09 MPa
酸素製造量	4,600 m ³ N/h
ガスタービン	1,300℃級
発電機出力	8,000 kW

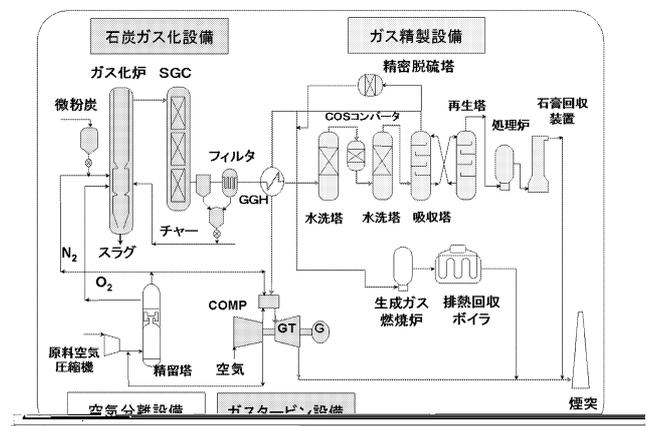


図2 EAGLEパイロットプラント概略フロー図

(a) 石炭ガス化設備

石炭ガス化炉には、炉型・ガス化剤・石炭供給方式などの違いにより様々な方式がある。燃料電池に適用する場合には、生成ガス中のH₂、CO含有量が多く、生成ガスの単位体積当たりの発熱量が高い方式が適することから、本プロジェクトではドライフィード酸素吹1室2段旋回型噴流床方式を採用する。図3にガス化炉の特徴を、図4にガス化炉の構造を示す。原料の石炭及びガス化剤である酸素は、上下2段のバーナに供給される。バーナは上下各段ともその向きを炉の水平断面の中心から円周方向へずらしており、旋回流を生じさせている。この旋回流により、固体である

石炭粒子がガス化する為に必要な滞留時間を確保している。またガス化炉下段バーナにおいて酸素/石炭比を高くすることにより、石炭灰が溶融（スラグ）化する温度を維持しつつ、上段バーナにおいては酸素/石炭比を低くすることによりガス化炉全体における酸素/石炭比がガス化に最適な値となるよう調整する。結果として、スラグを安定して流下させ、かつ高いガス化効率を得ることが可能となる。

他方、ガス化炉絞り部にはスラッキング防止のため、水洗塔出口より再循環された生成ガス（リサイクルガス）が供給される。生成ガス中に含まれるチャーはサイクロン、フィルタにより除去され、同じくリサイクルガスにより下段バーナよりガス化炉内に搬送される。また、酸素消費量を低減するために、下段より水蒸気を吹き込み可能な構造となっている。

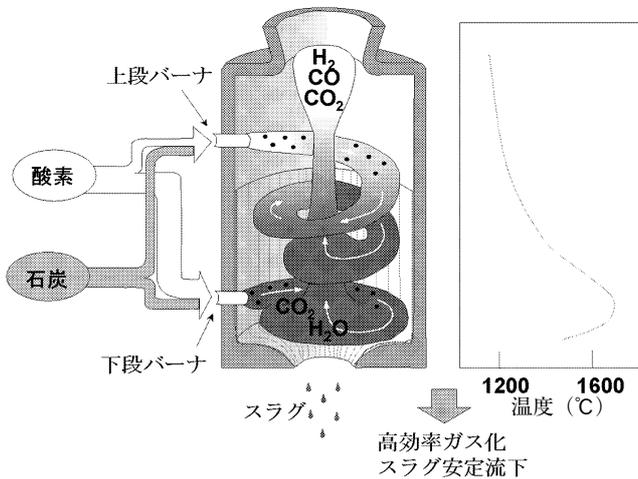


図3 ガス化炉の特徴

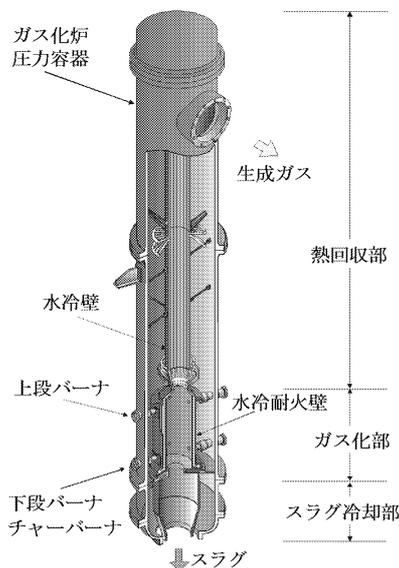


図4 ガラス化炉構造図

(b) ガス精製設備

ガス精製方式は乾式と湿式に大別され、プラント効率の観点からは乾式の方が有利であるが、燃料電池の不純物許容値を満足させるためには湿式ガス精製を採用する必要がある。約400℃でフィルタを出た生成ガスは、GGH（ガス・ガス熱交換器）で熱交換した後、水洗塔でハロゲン、アンモニア等の不純物が除去され、吸収塔で脱硫が行われる。ここでは、湿式吸収剤としてMDEA（メチルジエタノールアミン）を採用している。MDEAはCOS（硫化カルボニル）の吸収性が低いため、事前にCOSコンバータでCOSをH₂Sに転換する。吸収塔を出た生成ガス（約40℃）は、スチームヒータ及びGGHにより約200℃まで加熱され、ガスタービンに供給される。また、精製ガスの一部は精密脱硫塔に送られ、さらに燃料電池のS分許容値以下まで脱硫される。

(c) ガスタービン設備・空気分離設備

精製ガスを燃焼させてガスタービン・発電機を駆動し、パイロットプラントの所内電力を供給する。GT圧縮機の抽気空気は空気分離設備に供給できる構成になっている。空気分離設備の余剰窒素は、NO_x低減のためにガスタービンに供給される。

3. 建設工事状況

パイロットプラントの建設は、平成10年8月に建設工事に着工し、平成11年12月には主要設備であるガス化炉及び熱回収ボイラが架構へ据付けられた。写真1に現在の建設状況を示す。作業は順調に進められており、平成13年7月から試運転を開始する予定である。



写真1 EAGLEパイロットプラント建設状況

4. おわりに

石炭ガス化燃料電池複合発電システムは、従来の微粉炭火力に比べて飛躍的に効率の向上が見込まれることから、燃料電池用石炭ガス製造技術開発の成果に大きな期待が寄せられている。

最後に、本プロジェクトは石炭生産・利用技術振興補助事業として当社が新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託を受けて実施するものであり、資源エネルギー庁石炭・新エネルギー部石炭課をはじめ関係各位のご支援ご指導に深く謝意を表する。

◇ 先端技術 ◇

(1) 燃料電池開発の現状—川越における研究成果—



(財) 電力中央研究所 横須賀研究所
エネルギー化学部 上席研究員
伊崎 慶之

1. はじめに

燃料電池の開発は、国の開発計画を軸に、リン酸形、熔融炭酸塩形、固体酸化物形および固体高分子形についての開発が進められてきている。リン酸形については、小型(200kW以下)のものが、各所に設置され、フィールド試験が実施されている段階にある。今回、紹介する熔融炭酸塩形燃料電池(MCFC)については、リン酸形に継ぐ、次世代の燃料電池として、その開発が進められ、新エネルギー産業技術・総合開発機構(NEDO)からの委託研究として、1988年に設立された熔融炭酸塩形燃料電池システム(以下MCFC組合)のもと、国内初の1000kW級MCFC発電システムの実証に漕ぎ着けた。筆者は、1996年から2000年に亘り、MCFC組合に出向し、1000kW級MCFC発電システムの実証に従事する機会を得た。

以下に、中部電力(株)川越火力発電試験所に設置された1000kW級MCFC発電システムの概要とその研究成果について紹介する。

2. 1000kW級MCFC発電プラントの概要

1000kW発電プラントは、国の進めるニューサンシャイン計画第Ⅱ期計画前期(1987年～1993年)における大型MCFC本体の開発およびプラント化が必要となる主要構成機器の要素開発成果をもとに、後期(1993年～2000年)において、その設計・製作に着手された。プラントは、国内初のMCFC発電プラントであることから、MCFC組合のもと、設計開始から完成まで、約5年の歳月と多数の関係者の努力により、1999年に発電試験に漕ぎ着けた。

図1に1000kW級MCFC発電プラントの構成を、表1に主要機器の基本仕様を示す。プラント全体は、原燃料である天然ガス(メタン)をMCFCで発電可能な燃料(水素+酸化炭素)に改質するための燃料系、MCFCを中心とする電池系、電池系から排熱を回収し、プラントに必要な蒸気と加圧空気を供給する排熱回収系ならびにプラント全体を制御する制御系から構成されている。なお、電池系で発生する電力は、インバータを通して発電所構内の高圧電力系統に接続されている。また、プラントの運転は、起動・停止時を除き、通常2名の運転員によって運転・監視される。

図2に、プラント全体の鳥瞰図を示す。

表1 1000kW級発電プラント主要機器の概要

項目	基数	概要
運転圧力	5 atm	
スタック	2	250kW級、直交流型、300セル
	2	250kW級、平行流型、280セル
インバータ	2	500kW級、IGBT、PWM制御、6.9kV系統連系
改質器	1	二段触媒燃焼型、S/C 3.5
カソードブロウ	2	遠心式単段、磁気軸受
タービン圧縮機	1	タービン：軸流式2段膨張 圧縮機：遠心式2段圧縮
排熱回収ボイラー	1	多管式煙管型蒸発器、蒸気圧力8ata

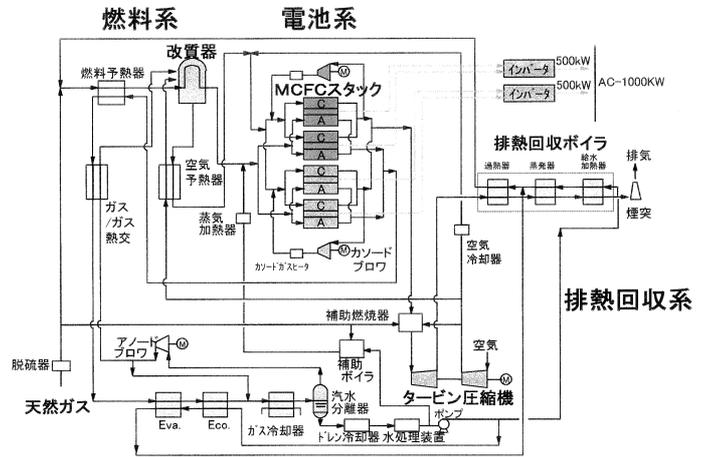


図1 1000kW発電プラントのフロー

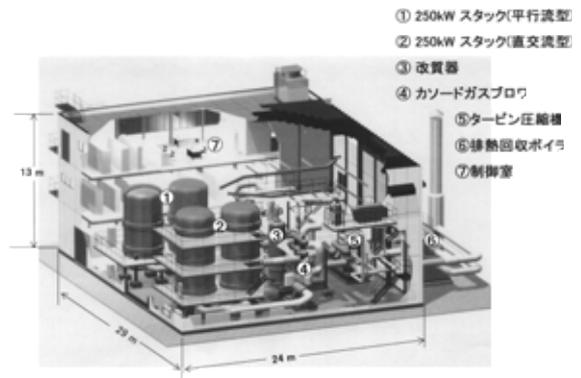


図2 1000kW発電プラントの鳥瞰図

3. 1000kWMCFC発電プラントの運転実績

図3に、プラントの運転実績を示す。プラントは、1999年8月4日に国内初のMCFC発電プラントの初発電に成功し、プラント全体の最終的な調整等を行い、11月5日に定格出力1000kWに到達した。その後は、定格出力での発電を中心に本格的な運転試験を開始し、2000年1月28日の定格出力からの負荷遮断試験によりプラントの安全性を確認し、運転試験を無事終了した。これにより、電気事業法第49条第2項の規程に基づく電気工作物としての検査にMCFC発電プラントとして初めて合格した。

表2に、得られた運転研究成果を示す。設計ポイントにおける発電効率としては46.1%が得られ、連続発電状態においても目標効率である45%以上の効率が実証された。本格的な運転試験以降2度の計画停止があったものの、プラントの累積発電時間は2669時間、総発電電力量は2103MWhを記録し、MCFC発電プラントの技術的な検証ならびに今後のプラント化への貴重なデータを得ることができた。

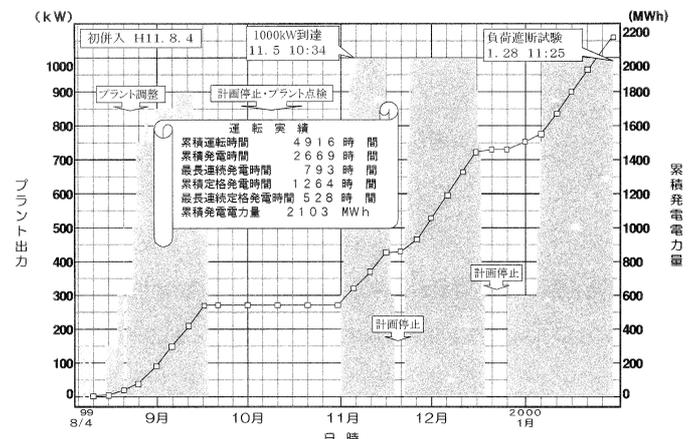


図3 1000kW発電プラントの発電実績

表2 主要な運転研究成果

- 累積運転時間	: 4,916 hrs
- 発電効率	: 46.1%
- 累積運転発電量	: 2,669 MWh
- 総発電電力量	: 2103 MWh

4. おわりに

国内初の1000kWMCFC発電プラントの実証は、多くの関係者の熱意と努力により、予想以上の成果を挙げ、成功裏の内に終了し、今後のMCFC発電の研究開発における貴重な礎となったものと信じている。

最後に、本研究は、通産省工業技術院のニューサンシャイン計画の一環として、NEDOからの委託研究としてMCFC研究組合が実施したものである。これまでの推進にご尽力頂いた関係各位に感謝致します。

さらに、プラントの設計・製作ならびに発電試験の遂行にご尽力された安江弘雄川越MCFC発電所所長を初めとするMCFC組合職員ならびに組合員各位に敬意を表します。

先端技術 (2)

太陽熱利用によるCO₂含有天然ガス田の活用技術



地球環境産業技術研究機構 [RITE]
化学的CO₂有効利用研究室
主席研究員 丹羽 宣治

1. はじめに

地球温暖化防止京都会議 (COP3) において、先進国の温室効果ガスの削減目標が設定され、我が国の場合は1990年に比べて2010年に6%の削減が課せられている。産業や民生の全般にわたる省エネルギーの推進や、エネルギー転換、植林や新たな革新的技術の導入等によりその目標を達成する必要があるが、今後の経済成長を考慮すると極めて厳しい目標と言わざるを得ない。そのため、単位エネルギー当たりの二酸化炭素発生量の少ない天然ガス (メタン) は、将来の相当期間の有望なエネルギー源としてその消費と流通が拡大することが期待されている。また、天然ガスは現在においても、メタノール製造における炭素源と水素源とし

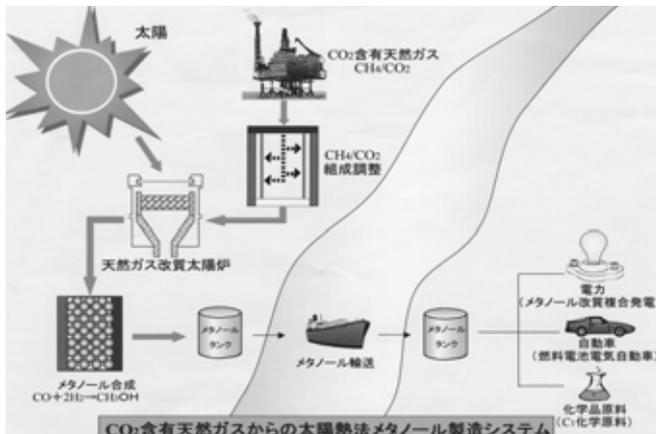


図1 CO₂含有天然ガスからの太陽熱法メタノール製造システム

て重要な原料である。

しかし、オーストラリアやインドネシアなどで今後採掘が予定されている天然ガスは二酸化炭素 (CO₂) を大量に随伴したものが多く、従来通りに採掘して利用するなら大気中に大量のCO₂を放出することになる。

RITEはCO₂を多量に含む天然ガスに太陽熱を利用し、CO₂排出抑制と新しいエネルギー源を創造する技術の開発に取り組もうとしているのでこれを紹介したい。

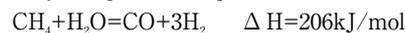
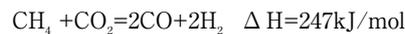
2. CO₂を含む天然ガスからのメタノール合成技術の概要

CO₂を含む天然ガスを分離膜等を用いてCO₂とメタンの混合比を調整した後、太陽熱利用反応器での接触反応によりメタノール合成に適した合成ガスに改質する。さらに、この合成ガスから接触反応によりメタノールを合成する。

まずCO₂を含む天然ガスのCO₂/CH₄組成比をメタノール合成に適した組成比になるように調整する。CO₂が不足する場合には、他の固定発生源から回収したCO₂を天然ガスと混合して調整してもよい。次いでメタンをCO₂や水蒸気で改質し、改質ガスを得る。得られたガスからメタノールを合成する。改質反応 (吸熱反応) に要する熱エネルギーは太陽熱を利用する。

この技術はメタンと多量のCO₂を含有する比較的利用価値の少ない劣性天然ガスが存在すること及びメタンのCO₂や水蒸気による改質反応が吸熱反応であることに着目し、改質反応に太陽熱を活用して、その熱エネルギーを化学エネルギーに転換することによりエネルギー源の高度利用を図り、もってCO₂の削減に寄与する技術である。

<改質反応>



<メタン、CO₂及びH₂Oからメタノールを合成する総合式>

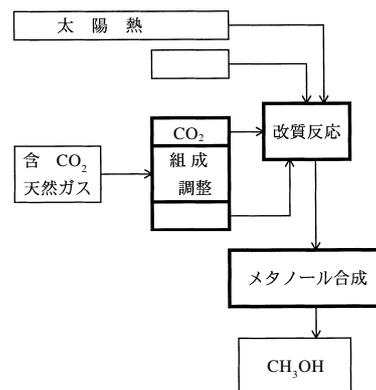
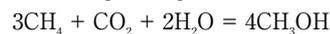


図2 太陽熱法メタノール合成ブロックフロー図

3. 炭酸ガス削減効果試算例

従来法では改質反応及びプロセス動力などプロセス用に必要なエネルギーは原料天然ガス及びメタノール製造時に発生するオフガスの燃焼により得ている。この量は原料天然ガスの約30%に相当する。このプロセス用に使われた天然ガスエネルギーを太陽エネルギーにすべて置き換えるとした場合について計算した。なお、ここでの計算ではプロセス設備製造のためのエネルギーは除外している。

たとえば、25%のCO₂を含む天然ガス10,000m³から合成できる従来法メタノールは9,500kgに対し太陽熱利用法では14,300kgである。従って、メタノールの生産増加分を原油に換算すると、天然ガス10,000m³あたり原油約3klの削減効果がでる。またこれをCO₂削減効果に換算すると約2t-Cになる。

4. おわりに

本技術は今後CO₂を大量に随伴したものが多くなり、従来通りに採掘して利用するなら大気中に大量のCO₂を放出することになる。このCO₂の削減と将来有望で使いやすいエネルギー源の創造を図る目的を持つものである。

特に、高密度な太陽エネルギーが利用可能で、CO₂随伴天然ガスが存在するオーストラリアやインドネシア等の採掘現場での実用化は、我が国が提供できるCO₂削減に関する国際協力技術として有用で、期待の大きなものがある。

本技術によって生産されるメタノールは、燃料電池電気自動車及び国内火力発電所の燃料として将来大きな需要が見込まれている。

また、我が国エネルギー多消費型産業から排出されるCO₂を分離回収し、本技術実用化現場へ移送し、メタノールへ転換する国際的CO₂削減システムへの応用も考えられる。

さらに、国内現場対策として、固定発生源からのCO₂を工場排熱などの熱源及びメタンを利用してメタノールに転換する技術へ、本成果を応用することも将来的には考えられる。

◇ 国際会議報告 ◇

第8回原子力工学国際会議 (ICONE-8) 概要報告

8th International Conference on Nuclear Engineering
2000年4月2日～6日

東京電力原子力研究所 森 治嗣

米国機械学会 (ASME)、日本機械学会 (JSME) 及びフランス原子力学会 (SFEN) 主催第8回原子力工学国際会議 (ICONE-8) が、去る2000年4月2日～6日に米国Maryland州Baltimore市のHyatt Regency Hotelで開催された。参加登録者数は米国からは340名、日本からは132名、仏国からは55名で、その他27ヶ国から合わせて前回東京でのICONE-7 (656名) とほぼ同等の総数約650名を超える盛大な会議となった。会議は152のテクニカルセッションと、16のプレナーリー及び招待講演セッション、5つの学生プログラムセッションから構成され、プレナーリー及び招待講演では約70件のうち12件の講演を日本から行っている。

会議の基調テーマである、“Nuclear Energy in the New Millennium”をテーマとしたオープニングセッションでは、米国からは、米国で初めてカルバートクリフス原子力発電所の運転認可更新に対する認可が下り今後更に増加するであろうこと、米国では産業界の再編合併、プラントの売買が進み、スケールメリットを生かし合理的経営を行うことで競争力を維持しようとしていること、日本からは友野名誉委員長が、日本での原子力による発電総量が3分の1を占める重要性とともに、JCOの事故に触れ、次のミレニアムへのチャレンジは、技術の進歩だけでなく技術者にとって社会への責任と献身を心に留めておく必要があること、この事故から学び取り次のミレニアムへ役立てる必要があること、またフランスからの講演では、フランスで自給率が持ち直してきているのは、原子力発電によるものが多く、原子力発電は将来にわたり重要なエネルギーであること、原子力発電を健全に進めていくためには、研究開発、建設、運転といった分野を絶えず継続してたどっていくことが必要で、シーメンスとフラマトムで共同開発しているEPRは、最近手薄になっている研究開発や建設の分野を補うものとして重要な役割を果たしている、等の講演がなされた。その他の講演セッションでは、プラント運転保守や

建設に関わるコストダウン、規制緩和、MOX利用、低レベル放射線、PA等に関する講演がなされた。

テクニカルセッションには、10のトラックに学生プログラム35件を含めると約700件の講演発表があり、運転保守、機器信頼性、材料、構造、耐震、許認可更新、廃炉除染、安全評価、次世代炉、熱流動、基礎技術、燃料サイクル、及び規格基準、規制等に関する活発な討論がなされた。次回ICONE-9はフランスのニースで、2001年4月8日～12日に開催される。

国名	参加登録者数	国名	参加登録者数
Argentina	1	Korea	15
Austria	2	Lithuania	1
Belgium	6	Netherlands	3
Brazil	2	Republic of China	1
Canada	13	Russia	6
Finland	6	Slovenia	2
France	55	Spain	8
Germany	24	Sweden	9
Hungary	3	Switzerland	7
India	1	Taiwan	2
Israel	1	Turkey	1
Italy	7	U.K.	5
Japan	132	U.S.A	340
Kazakhstan	1	総 合 計	654

第45回国際ガスタービン会議

ASME TURBO EXPO LAND, SEA & AIR 2000 (The 45th ASME Gas Turbine and Aeroengine Technical Congress, Exposition and Users Symposium)
2000年5月8日～11日 (ミュンヘン)

(財) 電力中央研究所

プラント熱工学部 高橋 俊彦

アメリカ機械学会 (ASME) が主催する国際ガスタービン会議が、ドイツのミュンヘンで4日間にわたり開催された。本国際会議は、年1回U. S. A. とヨーロッパで隔年開催される世界最大規模のガスタービンに関する会議で、今回は約4000名の参加登録者があった。

会議では、表1のように合計154のセッションが設けられ、基調講演、論文講演、パネル講演合わせて790件の講演が行われた。論文講演、パネル講演は共に過去最多の件数であった。技術講演内容を概略的に分類すると表2ようになる。展示会には、250社余りの企業が参加し、製品のデモンストレーション等が行われた。

表1 セッション数および講演件数

	セッション数	講演件数
基 調 講 演	1	3
ユーザースイム	21	パネル 123
技 術 講 演	132	論 文 614
		パネル 60
計	154	790

表2 技術講演におけるセッション数、講演件数の分類

	セッション	論文講演	パネル講演
空 力	26	130	—
伝 熱 ・ 冷 却	19	104	—
構 造	14	81	—
燃 焼	13	68	8
コージェネレーション	13	47	10
制御・診断・計装	6	35	—
セラミックス	6	28	—
サイク ル	5	27	—
航空用エンジン	8	24	15
船用エンジン	5	17	8
バイプライン	4	17	—
石炭・バイオマス・代替燃料	5	16	11
金 属 材 料	6	12	8
教 育	2	8	—
合 計	132	614	60

◇ 研究分科会活動報告 ◇

研究分科会 A-TS08-06

熱荷重による構造物損傷評価手法に関する研究会

(主査：班目春樹 H10.8～H14.7)

高温でかつ温度変動の大きい条件下で使用される動力・エネルギー関連機器の設計においては、性能とコストの向上を両立させる上で、熱荷重による構造物損傷を防止しつつ設計の簡素化及び機器のコンパクト化を指向していくことが重要である。原子力でこの問題が最も厳しいのは、高热伝達率のナトリウムを冷却材として使用する高速増殖炉である。このことから高速炉関係者が中心となって、熱流動と構造両方の専門家からなる本研究会が平成10年にスタートした。そこでは最先端の熱荷重評価技術などが紹介され、特に温度の異なる流体の混合部でのサーマルストライピングに絞って構造物損傷評価手法の提案が行われた。これは、混合流体温度差が小さく余裕があるときは簡易評価でよく、設計余裕が小さい場合はそれに応じてより厳密な熱流動数値解析等を用いるというものである。

これを当面高速炉関係の技術基準的なものにまとめようと議論しているときに発生したのが敦賀2号機の冷却水漏洩である。原因は熱応力による熱交換器の胴の変形と流動パターンの変化が連成したもので、特殊な事例であることからその発生を未然に予測することは困難だったと思われる。しかしこのトラブルは、高サイクル熱疲労の防止について技術基準が全くなくていいのかという問題を提起した。そこで電力会社では自主的に研究を開始する一方、そのデータの提供を受けて本研究会が軽水炉に適用可能な技術基準の原案を作成することとなった。対象とする現象は主としてサーマルストライピング及び枝管滞留部の熱成層界面の振動による熱疲労である。軽水炉への適用ということに絞られ、使用領域を包絡する条件で実験を行い、熱流動数値解析結果よりは実験結果に基づく評価を目指すこととした。

このため研究会の中に軽水炉WGを設け、そこが電力共通研究で実施される実験に対しコメントするとともに、将来は軽水炉の規制に使用される機械学会基準の原案作成を担当することとした。一方当初からの高速炉関係者を中心とする研究会では、軽水炉WGと密接に情報交換しつつ、独自に高速炉に適用可能な基準のあり方を検討している。このようなことから当初本年7月までの予定であった本研究会は平成14年まで活動を続ける。

研究会は電力共通研究やサイクル機構等の最新の研究成果が紹介される場であるとともに、それらの知見を総合して機械学会基準の原案を作成するという使命も有している。関心のあるかたは下記までご連絡いただければ幸いです。

madarame@tokai.t.u-tokyo.ac.jp

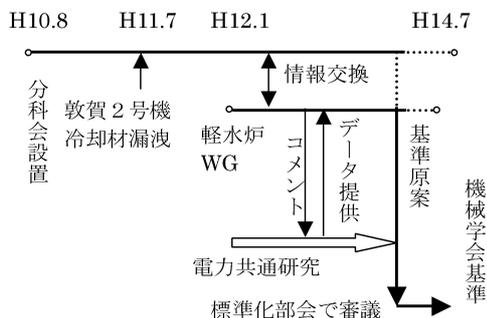


図1 研究会の経緯と構成

◇ 研究室紹介 ◇

東京工業大学原子炉工学研究所 高橋研究室

所在地：〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1

TEL & FAX: 03-5734-2957

1. はじめに

当研究室では、原子炉や核融合炉、加速器ターゲット系の熱流体と材料問題について研究を行っています。

- ・自由表面乱流
- ・蒸気のスプレー・層状流凝縮伝熱
- ・磁性流体の沸騰・二相流
- ・リチウム二相流と水銀液膜流の電磁熱流体力学
- ・鉛ビスマスの材料腐食と酸素濃度

2. 鉛ビスマスの流動と材料腐食試験

最近はじめた鉛ビスマス材料腐食試験について紹介します。高速炉用冷却材および加速器駆動核変換のターゲット材料として有望な鉛ビスマスについて、工学的に問題となっている高温における材料腐食の研究を始めました。

図1に鉛ビスマス循環ループの概略系統図を、また写真1に保温材で覆う前の循環ループの外観を示します。加熱器から冷却器までの高温部を9Cr-1Mo鋼で作製し、最高温度550℃で材料腐食試験ができるように設計しました。鉛ビスマスの装荷量は450kg (45ℓ)、定格流量は6ℓ/min、試験部流速は2m/sです。7月に装置の製作が完了し、現在試運転を行っています。電磁流量計と酸素濃度計に問題があり、さらには実験遂行上材料腐食に対して重要な酸素濃度の制御等に多くの課題があります。

3. おわりに

今後、鉛ビスマス材料腐食研究を進めると共に、種々の熱流体現象の複合的問題について研究を行う予定です。

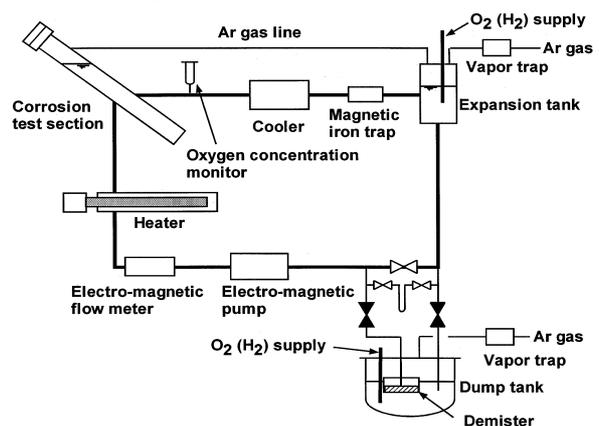


図1 鉛ビスマス循環ループの概略系統図



写真1 保温材設置前の鉛ビスマス循環ループ外観

◇ 地区便り ◇

(1) 大崎発電所1号系列建設工事
～世界最大級PFBC発電所の建設状況～

中国電力株式会社 伊藤 勝

瀬戸内海ほぼ中央の離島に建設中の大崎発電所は、当社で初めての加圧流動床複合発電方式（PFBC）による世界最大級の石炭火力発電所です。

PFBCとは、加圧された流動床ボイラから発生する蒸気と排ガスにより蒸気タービンおよびガスタービン各々の発電機を駆動する複合発電方式のことで、高効率発電が可能となります。また燃料の石炭とともに投入する石灰石により燃焼と同時にSOxが除去できる（炉内脱硫）、低温燃焼（約860℃）によりNOxの発生を低減できるなど、環境特性にも優れています。大崎発電所ではこれらの特徴に加え、PFBCとして初めて双炉方式（通称：W. B.）を採用し、運用性の飛躍的向上および製作の合理化を図りました。

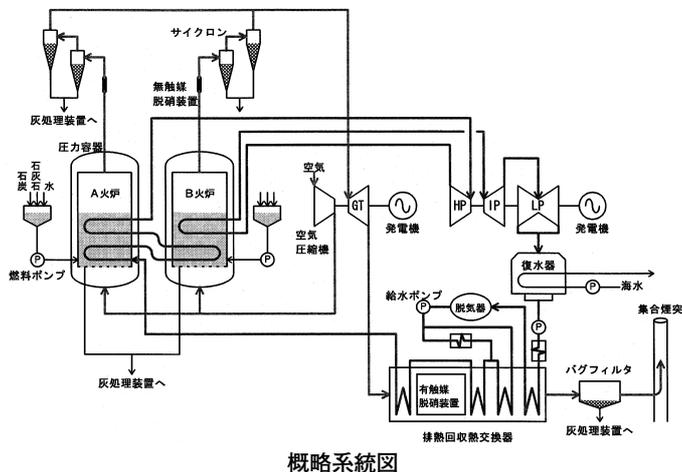
1-1号機は平成7年11月の着工以来順調に建設工事を進めており、現在、平成12年12月の営業運転開始を目指し総合試運転を行なっています。

【主要設備の概要】

- ・発電方式 加圧流動床複合発電方式
- ・総出力 500MW (250MW×2基)
- ・使用燃料 石炭（年間使用量：約120万ton）
- ・蒸気条件 16.6/2.66MPa, 566/593℃
- ・ガス条件 1.077MPa, 845℃



発電所全景写真（平成12年7月撮影）



概略系統図

(2) 動力エネルギーシステム部門見学会
波力発電設備と廃棄物発電設備

石川島播磨重工業（株）
藤井 衛（企画第1委員会幹事）

平成11年度は、CO₂削減のためのエネルギー有効利用の実施例として、波力発電と廃棄物発電の設備の見学会を、13名の参加で10月7日、8日に実施しました。

1日目は、三重県五ヶ所湾沖合い1.5kmに浮かぶ波力装置「マイティーホエール」を見学し、2日目は、伊勢神宮に参拝した後、岐阜県可児市の廃棄物処理施設「ささゆりクリーンパーク」内の可燃ごみ処理発電施設を見学しました。

二つの設備の概要を以下に紹介します。

波力発電設備

海洋科学技術センター マイティーホエール
波の力で空気圧縮機を駆動し、空気タービンで発電
発電容量：(50kW+10kW) 1台、30kW2台



（写真提供 海洋科学技術センター）

可燃ごみ処理発電設備

可茂衛生施設利用組合 ささゆりクリーンパーク
ごみの焼却で発電した電気で灰を溶融固化して資源化
処理容量、発電容量：240トン/日、1400kW



（写真提供 可茂衛生施設利用組合）

最新の技術に接し、知見を広げると共に、マイティーホエール見学では、チャーター漁船での短いクルーズを楽しむことができました。今後も有意義な見学会を企画してゆきます。



(3) 動力エネルギーシステム部門見学会

新日鐵八幡製鉄所「高炉炉頂圧回収発電設備他省エネ設備」
電源開発若松総合事業所「廃棄物固形化燃料（RDF）発電設備」

三菱重工業（株）原動機事業本部
エネルギーシステム技術部主席 本郷 清

今年の見学会も省エネ設備を対象として、6月8日高炉炉頂圧回収発電設備とIPP発電設備他（新日鐵八幡製鉄所）と6月9日に廃棄物固形化燃料（RDF）発電設備（電源開発若松総合事業所）について行われた。参加者は大学3名、電力会社2名、及びメーカー7名の総勢12名であった。

新日鐵八幡製鉄所での「高炉炉頂圧回収発電設備」は317～366kPa、約700,000m³/h発生する高炉ガスをホルダーの圧力73kPaに減圧するために、このガスを除塵した後、エキスパンダーである高炉炉頂圧回収タービン発電機に投入し、減圧をしながら発電を行なう設備を見学できた。発電定格は17,100kWである。

他に省エネ設備として、コークスの顕熱を回収する排熱回収ボイラー（CDQ）設備、1号タービンによる蒸気デマンドと発電量の最適運用等の説明があり、製鉄所の徹底した省エネへの姿勢を感じる事ができた。

また、省エネ以外でも圧延工場、高炉設備、及び昨年3月から運用を開始した石炭焚き149MW IPP発電設備等盛り沢山の見学をする事ができ、製鉄所ならではの多くの知識を得る事ができた。

電源開発若松総合事業所では、燃料電池、太陽電池、石炭ガス化設備等多くの省エネ実証設備が運転中、または建設中であるが、特に今回は点検中のため、ユニットは停止していたが、廃棄物固形化燃料（RDF）発電設備について見学する事ができた。

外部熱交式循環流動層ボイラー（RDF処理量1t/h）、活性炭式排煙システム、ダイオキシン再生除去装置、及び蒸気タービン（600kW）等の説明があり、見学参加メーカーより設備関係の質問が多く出された。

また、電発よりRDF燃焼のメリットだけではなく、実証試験でボイラーの耐腐食性に対する難しさと多くのノウハウを得た事、一方RDFによるごみ発電の経済性の難しさ、RDFの保存の難しさ等多くの説明がなされ、新聞、TV等のメディアを通して得た知識とは違うより現実的な事実を知る事ができ、有意義であった。

御多忙中、貴重な時間をさいて頂き、見学会の説明をして頂いた新日鐵の坪倉様、電発の伊藤様他の皆様に深く御礼を申し上げます。



見学会参加の皆さん

(4) 動力エネルギーシステム部門講習会00-16

「分散型発電設備－21世紀のコージェネレーションシステム－」開催報告

企画第1委員 荒木 達雄（武蔵工大）
小林 成嘉（日立）

2000年5月26日に73名の参加者を得て日本機械学会会議室にて、「分散型発電設備－21世紀のコージェネレーションシステム」の講習会が開催された。

21世紀に大規模発電と協調し、エネルギー産業の中核をになうまでに成長する可能性のある分散型発電について、技術革新の動向と内容、既存電力系統との連携、経済性、及び今後の技術的、制度的な課題についてこの分野の最前線で活躍されている方々に講演して頂いた。

「21世紀における分散型エネルギーシステムの重要性」と題し、日本コージェネレーションセンター会長も兼ねられる芝浦工業大学の平田教授から分散電源の動向と内容についての解説があり、水素燃料時代へのインフラ整備としてのガスパイプラインの重要性を強調され、次いで、電力中央研究所の石川上席研究員、斎川主任研究員より「分散型電源の系統連携に関する技術課題とマイクロガスタービンの省エネ性・経済性」について、系統連携に関する問題点と省エネ、経済性は熱の有効利用と燃料コストが強く係わっていることなどを定量的なデータにもとづいて講演された。

後半は、最新のコージェネレーション事例について大阪ガス（株）の堀内課長から紹介され、川崎重工業（株）汎用ガスタービン開発部の竹原主事、中安グループ員から開発を担当されたセラミックガスタービンなどについて詳細なデータをもとに、その技術課題と性能について講演され、（株）東芝 電力システム社燃料電池推進事業部の佐藤部長は燃料電池の導入事例と今後どのような役割を果たしていくのかを話され、最後に、ユーザー的な立場から、（株）NTTファシリティーズ コージェネレーションシステム部の佐橋部長は自社への導入事例をいくつかとり上げ、現状の制度、料金体系などについての検討が分散電源の導入には必要であるとまとめられた。



写真1 講演中の平田教授



写真2 満席の会場

◇ 欧州からの便り ◇

スイス国立パウル・シェラー研究所

中性子源ターゲット技術グループ 武田 靖

所在地：5232 Villigen, Switzerland

Tel: +41-56-310-3568 Fax: +41-56-310-3717

パウルシェラー研究所 (PSI) の核破砕中性子源 SINQ は固体ターゲットを使用して98年から稼動を開始した。MarkIIターゲットとして、鉛ビスマス (LBE) を使った液体金属ターゲットへの交換が現在検討され、MEGAPIEプロジェクトとして進行中である。

当グループは中性子源開発当初から一貫してLBEを使った自然循環の研究を行い、ターゲットの熱流動を研究してきた。これまでに水モデル、スケールの違う2つのLBE自然循環ループなどを使った研究を終了し、現在はLBEの強制循環ループを建設して、ポンプ等の各種コンポーネントの特性を調べる準備を行っている (写真1)。

この研究では液体金属の流動を直接観測する必要があるため、当初からパルス超音波を利用した流速分布測定法 (UVP) を独自に開発し、これまでに水銀を使った実験により、モックアップ体系での流れ場の動特性を完全に把握し (図1)、装置の設計に反映させた。

一方では基礎研究として流体力学の実験物理的研究を並行して行い、ビームターゲット特有の問題解決へ資している。その他UVPの応用として、新しい流量計測システムの開発なども行っている。



写真1 鉛ビスマス (LBE) 循環装置外観

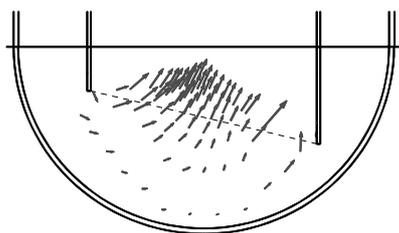


図1 UVPによる水銀モデルでの流動場測定例

◇ 平成12年度部門賞・部門一般表彰 ◇

動力エネルギーシステム部門功績賞、社会業績賞および優秀講演表彰につきまして、部門員からの推薦に基き、部門賞担当の技術第二委員会にて慎重審議を重ね、運営委員会の議を経て、今般下記の諸氏に贈賞のはこびとなりました。ここにご報告申し上げます。

功績賞 (五十音順)

秋葉 雅史 殿

(早稲田大学 理工学総合研究センター客員教授)

秋葉氏は、我国の発電プラントの大容量化と高性能化において、蒸気タービン、原子力タービン、地熱タービンなどの開発に多大な貢献をされました。また、JSME標準化部会長、ISO国内対策委員会委員長、IEC蒸気タービン日本委員会委員長等を歴任し、我国の蒸気タービン技術の国際基準化に多大の貢献をされました。

上田 庸夫 殿

(富士・フォイトハイドロ (株) 顧問)

上田氏は、水力発電用水車の開発、設計を中心に発電設備全般の技術を取りまとめ、わが国の水力発電技術の向上に多大な貢献をされました。また、模型水車と実物機との相似則やキャビテーションによる壊食量の国際規格制定に寄与されました。

社会業績賞

茅 陽一 殿

(科学技術振興事業団 環境関連研究統括)

茅氏は、電気学会会長、エネルギー資源学会会長、総合エネルギー調査会会長、産業構造審議会地球環境部会長他、海外では国連委員、世界エネルギー会議委員などを歴任し、エネルギー・環境分野において、多大な社会貢献をされました。また、原子力エネルギー円卓会議の議長、モデレータとして、エネルギー問題の世論形成に貢献されました。

優秀講演表彰 (講演順)

山田 敏彦

(石川島播磨重工業 (株))

"Development of the Dynamic Plant Simulation in CO₂-Recovery Type Pulverized-Coal Fired Power Plant Applied Oxygen/Recycled Flue Gas Combustion" (IJPGC-ICOPE99)

沖 裕壮

((財) 電力中央研究所)

"Fundamental Study on Vaporization Characteristics of Coal Ash Components in the Coal Gasifier" (IJPGC-ICOPE99)

鈴木 裕美子

(東京工業大学原子炉工学研究所)

"Investigation on the Bubble Boundary Layer in Bubbly Counter-Current Flows" (ICONE-8)

柴本 泰照

(日本原子力研究所)

"Visualization and Measurement of Subcooled Water Jet Injection into Molten Alloy" (ICONE-8)

以上の4氏は、部門共催の当該国際会議にける優秀な講演が評価されました。功績賞、社会業績賞および優秀講演表彰の贈賞式は、平成12年10月20日(金)に、動力エネルギーシステム部門「セミナー&サロン」会場である(株)日立製作所本社にて執り行われます。

◇ 副部門長選挙経過報告 ◇

動力エネルギーシステム部門総務委員会
幹事 荒川 善久

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システム部門副部門長選挙要綱により、以下の手順で進めています。

1. 選挙管理業務は総務委員会構成メンバーが行います。
2. はじめに当期運営委員会のメンバーが、部門のこれまでの運営委員経験者(旧動力委員会委員を含む)の中から、郵送により、次期副部門長候補者の推薦を行います。
3. その被推薦者の中から、総務委員会で2~3名の候補者を選出します。選出にあたっては、推薦数の順位、学術分野、所属(企業、大学等)、地区などのバランスを配慮します。なお、被推薦者の中に総務委員会のメンバーが入っていた場合には、その人は選挙管理業務から外れます。
4. 次に郵送による選挙を行い、投票の過半数を得た人が当選となります。第一回の選挙で決まらない場合は、上位2名による第2回目の選挙を行います。

今期は、6月12日の第78期第一回総務委員会にて選挙管理委員会が発足し、8月18日に選挙公示と候補者推薦依頼を行い9月下旬締め切り、10月中旬に候補者を決定する予定です。順調に進めば11月末頃までには、次期副部門長が決定する予定です。この選挙結果については別途報告します。

◇ 国際会議予定 ◇

(1) 2001年動力エネルギー国際会議(ICOPE-2001) 西安(中国)大会
〔主催 中国動力工程学会、日本機械学会、米国機械学会〕

開催日 2001年10月8日(月)~10月11日(木)

開催地 西安、中国

募集要旨 本会議は、動力エネルギーおよびこれに関連する分野の最新技術に関する論文発表、討論ならびに情報交換を行うために、日米中が中核となって隔年ごとに開催する国際会議です。今回のICOPEは、中国動力工程学会が主催し、日本機械学会および米国機械学会が共催する体制であり、セッションは日米中の合同企画の予定です。論文募集の分野は下記に示すとおりです。

申込み方法 A4判用紙に400語程度の英文アブストラクトを記

し、表紙に論文題目、氏名、勤務先(所属)、連絡先を英文、和文を併記し、希望セッション名を記し、4部を下記宛に提出して下さい。

募集日程 アブストラクト締切: 2000年9月15日(金)

論文原稿締切: 2000年12月15日(金)

最終原稿締切: 2001年4月15日(日)

問合せ先 〒305-8564 つくば市並木1-2

機械技術研究所・エネルギー部長 濱 純

電話 (0298) 61-7077 / FAX (0298) 61-7240

E-mail: hama@mel.go.jp

(2) 第9回原子力工学国際会議(ICONE-9) および学生プログラム
〔主催 仏国原子力学会、日本機械学会、米国機械学会〕

開催日 2001年4月8日(日)~4月12日(木)

開催地 Nice, France

(a) 国際会議

申込方法 400語のAbstractをタイトル、所属、著者名、連絡先住所、電話番号、FAX、E-mailアドレスとともに下記のいずれかの方法で送付ください。

・インターネット登録: <http://www.sfen.fr/icone9>・E-mail: icone9@sfen.fr

・郵送: SFEN/ICONE9 & #8211; 67, rue Blomet-75015 Paris & #8211; FRANCE

募集日程 アブストラクト締切: 2000年9月15日(金)

フルペーパー締切: 2000年11月30日(木)

CD-ROM用最終原稿: 2001年1月31日(水)

問合せ先 〒235-8523 横浜市磯子区新杉田

(株) 東芝 磯子エンジニアリングセンタ

松村 誠

電話 (045) 770-2090 / FAX (045) 770-2396

E-mail: makoto1.matsumura@toshiba.co.jp<http://www.sfen.fr/icone9/>

(b) 学生プログラム

募集要旨 動力エネルギーシステム部門では、仏国で開催される第9回原子力工学国際会議(ICONE-9)の一環として学生プログラムを設けます。将来を担う若人に原子力の最新技術に触れ、その魅力を理解していただくため、会議での論文発表による海外学生との交流の後に研究施設を見学するプログラムを設けました。将来原子力産業に従事されることを考えている学生諸君に参加していただくことを希望いたします。なお、学生参加者に、宿泊費などを一部補助いたします。

応募人数 15名

応募要領 A4版用紙に氏名、学校・学部・学科名、住所、電話、FAX、(E-mailを含む)と英文・和文論文(英文で2000語程度)を記入の上、各2部を下記論文応募先にお送りください。

論文応募 締切り 2000年11月17日(金)

問合せ先 日本原子力発電 発電管理室 樋口雅久

E-mail: mhigunet@netjoy.ne.jpICONE-9 Home Page <http://www.sfen.fr/icone9/>

◇ 部門賞募集 ◇

2001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2001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長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2001年4月末日までの到着分を2001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

〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1

九州大学教授 大学院工学研究科機械科学専攻 吉田 駿

TEL 092-642-3480 FAX 092-641-9744
E-mail yoshida@mech.kyushu-u.ac.jp

◇ 行事カレンダー ◇

2000年	
10月1-6日	第4回日韓熱工会議(神戸)
10月17-18日	Radioactive Waste Management 2000 (London)
10月20日	セミナー&サロン(日立本社)
10月23-27日	第6回船舶機関国際シンポジウム(東京)
10月31-11月1日	第7回動力エネルギー技術シンポジウム(東京)
11月16日(木)	講習会「格子ガスならびに格子ボルツマン法による流体解析入門」(筑波大、連絡先 abe@kz.tsukuba.ac.jp)
2001年	
4月8-12日	第9回原子力工学国際会議(ICONE-9)
10月8-11日	2001年動力エネルギー国際会議(ICOPE-2001)(中国西安)

ニュースレター発行広報委員会

委員長：刑部真弘(東船大)
幹 事：高橋 実(東工大)
委 員：犬丸 淳(電中研) 大竹浩靖(工学院大) 神永雅紀(原研) 小見田秀雄(東芝) 堂本直哉(石播) 中村昭三(日立) 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：西野信博(広大)

投稿、ご意見は下記宛をお願いいたします。

〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6
東京商船大学教授 刑部真弘
Phone & Fax: 03-5245-7404
E-mail: osakabe@ipc.tosho-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 有限会社 創 文 社

コピーライト ©2000 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。