

NEWSLETTER

P&ES
JSME

POWER & ENERGY SYSTEM

動力エネルギーシステム部門ニュースレター

【第26号】

第81期部門長に就任して



動力エネルギーシステム部門長
芹澤 昭示

この度、斎藤彬夫部門長のあとを受けて、第81期の動力エネルギーシステム部門長を仰せつかりました。歴代の部門長の方々が部門運営の重責を果たされ、各委員会委員長や委員、会員諸氏の協力の下で部門活動の礎を築かれ、今日の発展を実現されてこられたことを考えますと、大変荷が重いと感じております。この1年間副部門長として、斎藤部門長、佐藤部門幹事、富山総務幹事そして総務委員会委員各位、運営委員会委員各位より種々お教を頂いてまいりましたが、まだまだ部門運営に不慣れなところが多く、引き続き会員皆様のご支援を賜りたく心からお願い申し上げます。

動力エネルギーシステム部門がどのような活動をし、どのような形で社会に貢献すべきかと言う課題や抱負等につきましては、既に歴代の部門長の方々が部門ニュースレターにて述べておられますので、改めて繰り返して申し上げる必要はないかと思っております。本年度より機械学会の部門交付金、管理費・事務経費等々、部門会計処理方法が変更されるのに伴い、従来より非常に活発に国際的な学術活動や国内活動、各種行事を展開してきております当部門の事業を支障なく持続・発展させる秘策が求められています。また、当部門は産・官・学の密接な連携のもとで運営されている点は機械学会の他部門に見られない大きな特徴であります。それだけにエネルギー、環境、安全性といった社会性の強い側面を有しており、社会貢献や地域・支部との連携事業にこれまで以上の努力が要請されています。さらに、長期の景気低迷の中、会員増強を含めて学会組織としての学術・広報活動をどのように行っていくべきか、課題は山積しています。本年度は、皆様のご意見を伺い、また、奈良林副部門長を始めとする各種委員会委員等々のご相談しながら、この辺の事業に焦点を当てた活動を柔軟に展

開して行きたいと考えております。宜しくご支援の程重ねてお願い申し上げます。

◇副部門長選挙結果報告◇

第80期動力エネルギーシステム部門総務委員会 幹事 富山 明男

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領により、総務委員会の管理のもと、昨年8月から12月に選挙を実施いたしました。以下にその手順と結果を簡単にご報告いたします。まず昨期当部門運営委員の皆様が次期副部門長候補者をご推薦いただき、ご推薦を受けた方々の中から10月24日開催の総務委員会で2名の候補者を選出いたしました。継いでこの候補者2名に対し運営委員による投票をお願いいたしました。開票の結果、(株)東芝電力・産業システム技術開発センター主幹の奈良林直氏が過半数の票を獲得されて当選されました。その後、ご本人の承諾をいただきましたので、第81期副部門長は奈良林直氏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、第81期においては奈良林直氏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、総務委員長として規約立案、予算立案、財務管理、年次計画立案、次期副部門長選挙など、運営委員会の庶務事項をご担当いただくこととなります。併せて部門登録会員の皆様にご報告いたします。

◇行事カレンダー◇

2003年

- 6月12-13日 見学会「日本原燃再処理施設・東通原子力発電所・ウインドファーム」(青森県)
- 8月5-8日 2003年度 年次大会(徳島大学)
- 8月6日 部門同好会(徳島大学)
- 9月19日(予定) 講習会「点検整備とリスクマネージメントの最前線」(機械学会・羽田整備場見学付)
- 9月21-25日 ICEM-03 (Oxford, England)
- 10月20-23日 ISBEP2 (仙台・せんだいメディアテーク)
- 10月24日 セミナー&サロン (サイクル機構・大洗)
- 11月9-13日 ICOPE-03 (神戸・神戸国際会議場)
- 11月14日(予定) 講習会「燃料電池の最前線(予定)」

【目次】

部門長に就任して	1	研究分科会活動報告	7
副部門長選挙結果報告	1	研究所紹介：東電・技術開発研究所	8
特集：小型炉で始める原子力カルネッサンス	2	地区便り：「東海発電所の廃止措置開始」	8
先端技術：(1)磁気軸受を用いたアプリケーション	4	講習会報告：(1)見学会「宇宙開発事業団 種子島宇宙センター」	9
(2)環境調和型ハイブリッド発電システム	5	(2)講習会「新エネルギーシステムの最前線」	9
国際会議報告：(1) The 6 th ASME-JSME TEC2003	7	平成14年度部門賞受賞者所感	10
(2) The 28 th Int. Tech. Conf. on Coal Utilization & Fuel Systems	7	セミナー&サロン	11
		運営委員会報告	12

◇特集◇ 小型炉で始める原子カルネッサンス



東京工業大学原子炉工学研究所
教授 加藤 恭義

1. はじめに

原子力発電は、これまでの約50年間において、原子炉を大型化することによりコストダウンが図られ、今日では最も安価な電力として日本の全発電量の約1/3を占める重要なエネルギー源として定着した。現在、2020年頃の実用化をめざして超大型炉（170万kWe級）が開発されているが、大型化もこれが限界と予想される。大型化を超えた技術革新、人々の安全性への不安解消、分散エネルギー源としての新分野開拓を通じて、原子カルネッサンスをめざす小型炉の開発状況を紹介する。

2. 小型炉開発の必要性

(a) 技術革新 建設費が3,000～4,000億円にも達する大型原子炉では、従来の技術を一新するような革新的な技術の投入は、失敗したときの投資リスクを考慮すると、難しくなる。また、4～5年程度の建設期間が必要なこともあって、技術革新のスピードは遅くならざるを得ない。燃料電池などの新エネルギー技術の進歩は日進月歩であり、原子炉の大型化だけで技術革新を怠れば、恐竜が大型化したのちに絶滅したように、原子力発電も困難な状況に陥るかもしれない。こうした大型化に伴う問題だけでなく、チェルノブイリ原子炉の事故を契機として、安全性や放射性廃棄物の蓄積などへの人々の不安が増大し、その解消も大きな課題となってきた。これらの課題を解決するには画期的な技術革新が必要であり、小型炉は、費用や期間及び万一のトラブル時のリスクを抑えられるという点で、大型炉より有利になる。

(b) 地球環境保全 開発途上国では、高い経済成長率と人口爆発によりエネルギー需要が急増している。それに伴いCO₂濃度の増加による地球温暖化や、硫黄や窒素酸化物などの放出による地球環境悪化が懸念されている。これらを解決するための原子力導入は、大型炉では建設に多額の資金がかかり、簡単には進まない。また、送電網などが整備されていないので、大型炉が必ずしも有利ともいえない。

(c) 都市のエネルギーセキュリティ わが国では、都市の電力は遠隔地での火力や原子力による大規模集中発電に依存している。自然災害などにより、万一、送電が不能になれば、日常生活はもとより、情報化された都市は麻痺状態に陥ることになる。そこで都市では、少なくとも最低限のエネルギーが自給できる分散エネルギー源を持つことが望まれる。小型炉は、長期間燃料を補給しなくても運転できるという利点も有している。

3. 小型炉のめざすもの

(a) 高い安全性 エネルギー需要の大きい都市に小型炉を建設するには、受動的安全性の導入が不可欠となる。原子炉は小型化すると、炉心の体積に対する原子炉容器の表面積が大きくなり、原子炉容器の外表面からの放熱や空気の流れによる自然対流などでの冷却が可能になる。そこで、万一トラブルが発生しても、原子炉は自動的に停止したのち、人の介入なしで冷却され、大きな事故に至らない。

(b) 高い経済性 原子炉は小型でも、大型炉に匹敵する発電コストが達成されなければならない。小型炉のスケールメリットは、受動安全性やガスタービン発電の導入などによる系統構成の簡素化、機器の小型化、運転の単純化、量産効果により克服する。

(c) 廃棄物の低減 放射性廃棄物の低減は原子力の今後の重要な課題である。核分裂生成物やウランの中性子吸収により生成されるマイナーアクチニドなどの放射性廃棄物の内で長寿命のものを炉心に再装荷して、前者は半減期の短いものに交換し、後者は核燃料として有効活用することにより、削減させることをめざす。

(d) 熱電併給 現行の軽水炉は、炉心で発生した熱の1/3を電気に変換し、残りの2/3は排熱として海に捨てている。これは、原子炉がエネルギーの需要地から遠く離れた場所に建設されているため、熱を需要地に運ぶことが難しかったことによる。小型炉は、都市の近郊に建設され、排熱を有効活用することで電気と熱の両方を供給する。小型炉では、CO₂、放射性廃棄物及び排熱を外部環境に放出しないという三つのゼロ・リリースをめざす。

4. 分散エネルギー源小型炉に適した炉型

革新的小型炉の開発は、種々の炉型について行われているが、モジュール型ガスタービン高温ガス炉が分散エネルギー源として以下の観点から有力な選択肢となる。

(a) 安全性 高温ガス炉は、出力密度が低く（～3MW/m³）、炉心には大量の黒鉛減速材が用いられ熱容量が大きく、出力の異常な上昇や冷却能力の異常な低下などが生じて、炉心温度の変化は極めて緩慢である。例えば、冷却材喪失事故が発生しても、伝熱と原子炉外表面からの自然放熱のみで炉心は受動的に冷却され、燃料温度は核分裂生成物を放出しない制限値（1600℃）以下に抑えられる。

(b) 経済性 最近、マイクロガスタービンが分散エネルギー源として注目されている。これは、ガスタービンを採用することで蒸気タービンプラントより遥かに小型化及び簡素化され、運転も容易になり、大型火力プラント以下の発電コストが得られることによる。同じ理由で、ガスタービン小型炉でも大型炉並みの経済性が期待される。すなわち、压力容器の中に炉心、熱交換器、ガスタービンなどを収納し、10万kWe程度でモジュール化し、工場で量産することで大型軽水炉なみの発電コストをめざす。

(c) 熱電併給性 小型で安全な原子炉は、都市に近接立地でき、排熱も回収して地域熱供給に供することが可能となる。しかし、需要以上の熱が回収されても使いきれず廃棄せざるを得ない。業務用と家庭用のエネルギー用途別消費割合は図1のとおりである。電気でしか供給できないものは、動力・照明用の35～40%であり、残りは（厨房用を除けば）温熱と冷熱利用で賄われる。熱電併給における電力供給は動力・照明用の比率以上であることが重要である。Heガスタービン高温ガス炉の発電効率は46～48%であるが、排熱回収動力としての電力使用を考慮すると、50%以上であることが望ましい。

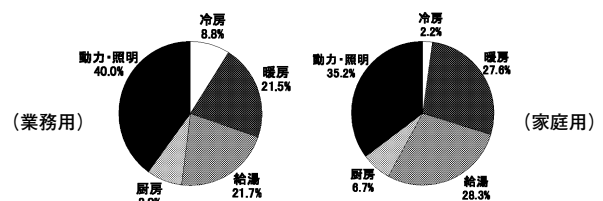


図1 民生用エネルギーの消費割合

5. 超臨界CO₂ガスタービン小型炉と熱電併給システムの可能性

高温ガス炉は、多目的熱利用と高発電効率をめざして、欧米で1967年に実験炉を、80年代には原型炉を運開させてきた。しかし、コスト面で、熱利用は化石燃料と発電は軽水炉と競合し得ないことなどにより80年代で全て停止された。しかし、目覚ましい技術発展を遂げたガスタービンを導入し、小型モジュール化することで大型軽水炉以下の発電コストが達成できるとして、各国で開発が進められている。我々は、冷却材としてCO₂を用いることにより、

He以上の効率（図2参照）、経済性及び安全性が達成される見通しを得ている。以下に、その概要を示す。

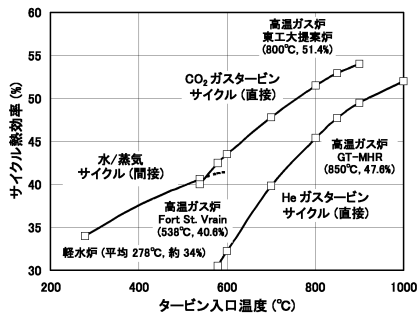


図2 蒸気/ガスタービンサイクル間の熱効率比較

(a) サイクル熱効率 図3で示されるように、蒸気タービンではタービンで得られる仕事に対するポンプで消費される仕事の比率は小さいのに対し、ガスタービンでは圧縮機において約50%程度が消費される。そこで、発電効率は、タービン入口温度を上げることによりタービン仕事を増加させること及び圧縮時にガス温度を35℃程度に下げることにより圧縮仕事を低減させることにより、改善されてきた。現在、高温ガス炉の原子炉出口温度は炉材料の面での上限に近い850～900℃に達している。一般に、気体は臨界点近傍で分子間力が急増し、圧縮仕事は最高で1/5程度に（図4参照）急減する。CO₂を作動流体に採用すると、臨界点（31℃、7.3MPa）近傍で圧縮作業が行え、圧縮仕事の低減が可能となる。（Heは臨界温度が極めて低いため困難）図2に示したように、CO₂ガスタービン炉は、Heガスタービン炉と比較して、サイクル熱効率が4～6%高く、原子炉出口温度が800℃でもサイクル熱効率は51.4%となる。

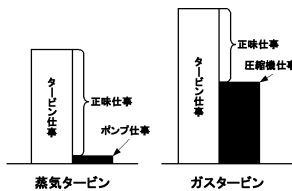


図3 蒸気/ガスタービンの比較

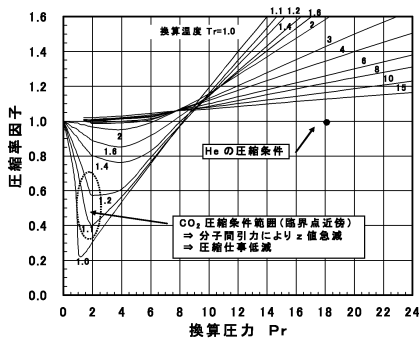


図4 気体の圧縮率因子の換算圧力・温度依存性

(b) 経済性 ガスタービン炉の主要な機器は、炉心を除けば、ターボ機器（タービン、圧縮機）と熱交換器（前置・中間冷却器、再生熱交換器）である（図5参照）。CO₂ガスタービン炉では、ターボ機器の重量は、He炉の場合の約1/5となる。また、熱交換器のサイズは、PCHE（Printed Circuit Heat Exchanger）型を採用すること等で、He炉とほぼ同等にできる。そこで、発電コストは、ターボ機器が小型化され発電効率が高くなる分CO₂炉の方が低くなる。また、CO₂の単位重量あたりの価格はHeの約1/24と安価であるため、運転コストの低減も期待される。

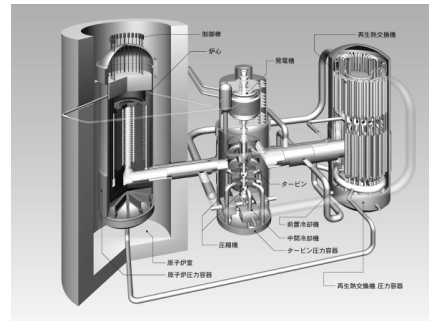


図5 CO₂ガスタービン高温ガス炉鳥瞰図

(c) 安全性 高温ガス炉は、万一の配管等の破断により炉心圧力が低下する減圧事故が軽水炉の冷却材喪失事故に相当する。小型炉では、このような事故時の炉心冷却が、炉容器外表面での空気との自然循環と熱放射に基づく受動的な除熱で行える。さらに、CO₂はHeと比較して漏洩しにくく、圧力低下速度が約3.6倍遅く、自然循環除熱能力は約2.5倍高いことで、事故時の安全性はHeより高くなる。

(d) 熱電併給性能 通常、ガスタービン高温ガス炉では、炉心で発生した熱の約1/2が前置・中間冷却器を介して海洋に放出される。開発した熱電併給システムでは、冷却に従来の海水に代わり液体CO₂（20℃、5.7MPa）を用い、沸騰熱伝達により高い熱伝達特性が実現される。冷却器での熱交換により105℃まで温度が上昇したCO₂は吸着式冷凍機を用いて冷房用冷水（7℃）生成に使い、温度が下がったCO₂はヒートポンプで加圧することにより約93℃にし約85℃の温湯生成に使用する。熱供給を終えたCO₂は減圧することで元の液体CO₂に戻り、再び冷却に供する。CO₂冷却系は閉ループであり、原子炉の排熱は環境に放出されない。電気と熱利用を合わせた総合熱利用率は90%以上となる。また、冷却に海水を使用しないので、海のない都市や地域でもプラント建設が可能である。冷却に用いたCO₂は、排熱回収の熱媒体として直接用いられるので排熱回収システムは簡素化される。その結果、熱供給コストは、約3.7年で既存のガスボイラー以下となり、この熱回収システムは経済的で実用性が高い。

(e) 都市の分散エネルギー源としての利用 開発した熱出力10万kW程度の小型炉は10万人規模の都市の分散エネルギー源として利用できる。図6に示すように、原子炉は地下に建設し、電気と熱がオフィスビルや遊園地などに供給される。エネルギー需要の低い夜間には蓄電・蓄熱を行い、需要ピーク時に対応する。

(f) 今後の展開 平成14年度に超臨界CO₂伝熱流動試験装置を完成し、15年度から検証試験を開始している。引き続き、パイロットプラントの建設をめざした実証試験を計画している。また、CO₂熱電併給システムの開発は、蓄電・熱、熱利用水素製造などを含めて、学内横断的組織により東京工業大学の戦略的研究として進めている。（www.rcd.titech.ac.jp/senryaku/imiri/imiritop.htm参照）



図6 原子力熱電併給システムの都市設置概念

◇先端技術◇

(1) 磁気軸受を用いたアプリケーション



日本エスドゥエム株式会社
笠 謙新

1. はじめに

磁気軸受の最大の特徴は完全な非接触、無潤滑軸受であり、この特徴から真空中や極低温などの極限環境での使用が可能となる。また、非接触で摩擦がないために軸受機械的損失がほとんどなく、回転周波数を機械強度的に許される最大限まで上げることが可能である。このような磁気軸受の特徴を生かした代表的なアプリケーションとしては、コンプレッサーやターボエキパンダーなどの高速ターボ機械が中心であった。

しかし、近年では制御装置のデジタル化や軸受電圧の高電圧化によって、小型化やコストダウンが図られ機械式の玉軸受やすべり軸受に代わる新世代の軸受として、そのアプリケーションが広がっている。

本稿では、最近採用が増加している永久磁石型超高速モータとガスタービンに磁気軸受を採用したアプリケーションについて紹介する。

2. 磁気軸受の原理

磁気軸受 (Active Magnetic Bearing) は、相対する電磁石の磁気吸引力によって回転軸を吸引し、回転軸の位置に応じた電磁石の界磁電流を制御することで完全な非接触状態で空中に保持する軸受である。軸受には回転体の静止荷重と運転時の動的荷重が作用した際に、回転軸ポジションと変位センサーの基準位置間に偏差が生じる。この偏差に応じた磁気吸引力 (コイル電流) を変化させ、変位センサーの基準位置に安定するよう制御する。図1にラジアル軸受の基本原理図を示す。

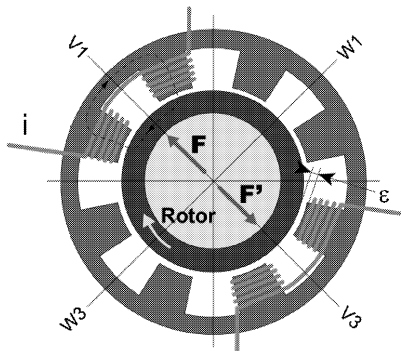


図1 ラジアル軸受の基本原理図

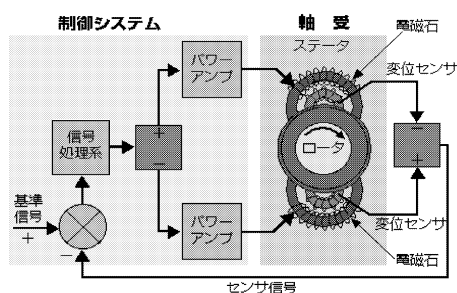


図2 制御回路の基本構成

制御回路は、回転軸の位置を検出する変位センサーの信号と制御基準位置を比較し、PID制御により補償する信号処理部、信号をモニターする監視部、および信号処理部からの司令に応じてコイル電流を調整する増幅部によって構成されている。モニタリングを行う監視部の機能として、軸受に作用する荷重の変化や外乱の状況のリアルタイム表示や運転状況の数値管理などが可能であり、最近では制御回路をデジタル化することにより小型化を図ると同時に、通信機能を持たせ遠隔操作や監視が可能である。図2に制御方式の基本構成図を示す。

3. 高速モータへの適用

以下のアプリケーションは、工作機械用スピンドルとして高速モータに磁気軸受を適用したものである (図3参照)。

一般的に切削、研削面の仕上がり状態や工作機械としての処理能力は、スピンドルの回転速度に比例するため、回転速度を可能な限り高くすることが望ましいが、玉軸受では温度や潤滑および寿命の問題に加えて、回転体の危険速度を回避するために回転速度に限界がある。

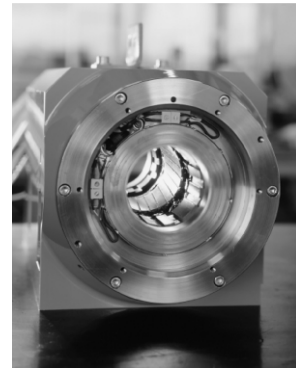


図3 工作機械用スピンドルモータ (40kW、45000rpm)

スピンドルモータの軸受として磁気軸受を採用することによって、機械的な接触部が省略され、寿命の延長、つまりメンテナンスを簡素化することが可能になる。さらに磁気軸受の能動制御機能を最大限に利用することで回転速度を上げることが可能となり、生産効率の向上にも寄与する。これらのスピンドルモータはすでに約10年前より実用化されており、市場における実績では現在100台以上が稼働中である。

開発初期のモータは高速回転用に設計した誘導モータを用いていた。この誘導モータの場合、回転子鉄心の遠心強度に対する耐力の問題や渦電流による過熱が大きく、実用機レベルでは30kWクラスで45000rpm程度の実績であった。近年は、永久磁石の磁束密度が向上するとともに、成形が比較的容易な永久磁石材料の開発にともない、PM (Permanent magnet) 同期モータが主流となっている。高速PM同期モータと磁気軸受の組み合わせは、回転速度とモータ効率の更なる上昇をもたらす、工作機械用スピンドルやガスコンプレッサーなどの産業機械として200台以上実用化されている。この組合せにおけるアプリケーションは、回転速度の高速化による装置全体の小型化、使用環境に制限の少ないモータ駆動、さらに回転速度制御が比較的容易であることから、今後ますます一般の産業分野に広がると考えられる。

図4はPM同期モータの開発実績を表したものであるが、モータ出力、回転速度ともに幅広く実用化されつつあることがわかる。

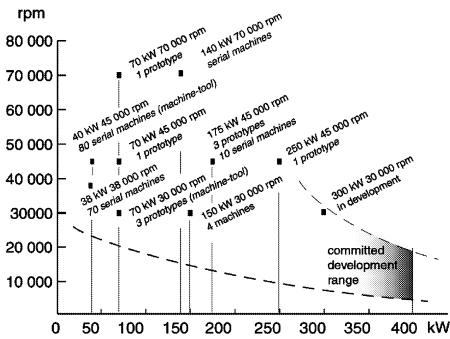
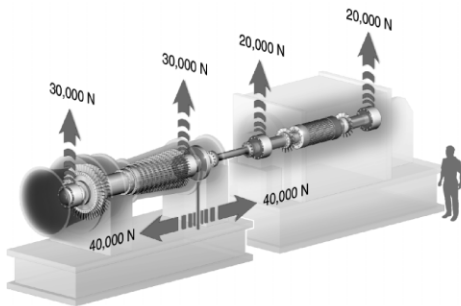


図4 高速PMモーター/発電機実績グラフ
(提供：フランスエドゥエム社)

4. ガスタービンへの適用

図5はガスタービン軸に発電機軸を直結した回転子に磁気軸受を採用した事例である。回転子重量は約10ton、軸全長は約10mあり、4組のラジアル軸受と1組のスラスト軸受で構成された回転子である。このガスタービンに磁気軸受を採用した特徴として、発電機用ラジアル軸受やスラスト軸受ばかりでなく、高温環境であるタービン側軸端用も磁気軸受を採用したことである。すべての軸受を磁気軸受化し、ガスタービンを発電機軸に直結することによって減速機を省略したことからオイルフリーを実現し、潤滑油の循環および冷却装置を省略することが可能となった。このため漏油のリスクを減少させることとなり、設備としての信頼性および安全性の向上を図ることができた。



タービン出力9MW：定格回転数6010rpm

図5 ガスタービン発電機用磁気軸受

◇先端技術◇

(2) 環境調和型ハイブリッド発電システム



株式会社世界貿易センタービルディング
施設管理部 部長 石川 敏行

1. はじめに

1) 建物概要とこれまでの省エネルギー化の取り組み

世界貿易センタービルは延床面積 153,841m²の建物で事務所、店舗、結婚式場、貸会議室、駐車場等からなる多目的な複合用途建物である。ビル人口は8千人、平日の流動人口は10万人を超え、使用する電気・ガス等のエネルギー使用量も年間9,000kl(原油換算)にも及ぶことから、昭和60年頃から省エネルギー対策を重点的に実施してきた。

近年、地球環境問題の高まりを考慮し、更なる省エネルギー対策を検討及び実施した。その後、設備の建物大規模更新を実施し

て、今回第3ステップとしてコージェネレーションシステム(以下CGSと略)及び太陽光発電システムを組合わせた「環境調和型エネルギー供給システム」を導入した。以下にその内容及び導入効果をしめす。

2) 賃貸ビルにおけるエネルギー使用面での特徴

賃貸ビルでは通常の自社ビルと比較して下記のような相違点がある。

- ① 建物を利用するテナントの業種によりOA機器の設置台数が違い、その使用電力量や発熱量が増加又は減少し、空調等に用いるエネルギーも変動する。
- ② 建物の入居率や在館人員により、消費するエネルギーが相違するので対策の効果が把握しづらい。

このような賃貸ビルにおけるエネルギー使用の特徴を考慮して、工場における年間生産量と同様の指標として、テナント部分以外の建物の空調・照明等で使用する電力と空調面積(年平均)の比(kWh/m²)を原単位として設定した。

2. 最近の省エネルギー対策

建物内設備の大規模リニューアルを平成6年から5年かけて実施した。その時に採用した省エネルギー対策の主なものを示すと下記ようになる。

- ① インバータ設備の導入・更新
- ② 熱源機器の高効率機器への更新(ターボ冷凍機、二重効用蒸気吸収式冷凍機)
- ③ 空調制御の変更(空調ゾーンの細ゾーン化・全館10→150ゾーン)
- ④ テナント用照明器具を省電力型安定器への更新
- ⑤ 駐車場の点滅方式の変更(車室部に人感センサ取り付け)

3. 更なる省エネルギー化の検討

増加する建物内のエネルギー使用量を低減するために、コージェネレーション設備の導入を検討した。季節別の電力及び蒸気の使用量を基に省エネ性・投資効果等について重点的に検討を実施した。

建物の1年間の負荷とCGSの仕様(1500kW 排熱ボイラ:46t/h)を考慮してシミュレーションを行い、計画したCGSでは電力:22%・蒸気:70%を分担できる結果となった。

2) 高効率化への検討

設備の導入に当たり、熱効率を最大限に出させるためには、夏季(吸収式冷凍機)及び冬季(暖房)以外の時期の蒸気を最大限に利用するために、蒸気タービン・復水器の採用を計画した。

また、コージェネ設備の劣化防止と都市美観上の対応として、上部に太陽光発電パネルをピラミッド状に配置し、発電させることとした。



図1 世界貿易センタービル

表1 コージェネ・太陽光発電設備の計画時の想定効果

項目	現状(導入前)	導入後
コージェネレーションシステム (1,500kW)		
契約電力	8,000kW	6,500kW
想定電力使用量	26,824MWh	同左
中圧ガス使用量	1,581千m ³	2,550千m ³
エネルギー消費量一次換算	347,898GJ	334,490GJ
同削減量	—	-13,407GJ
二酸化炭素発生量	20,820トン	19,557トン
同削減量	—	-1,263トン
投資回収年	—	5.2年
太陽光発電システム(80kW)		
発電電力	72,000kW/年	
燃料削減効果	15.6kL/年	
CO ₂ 削減効果	13.59トン/年	

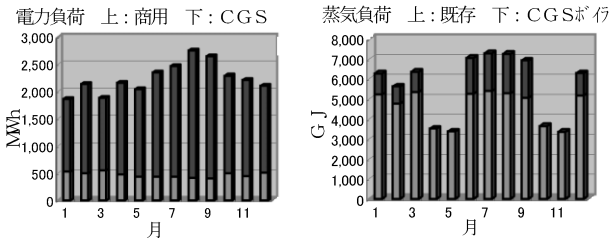


図2 建物全体負荷とコージェネ分担負荷想定(左:電気負荷、右:蒸気負荷)

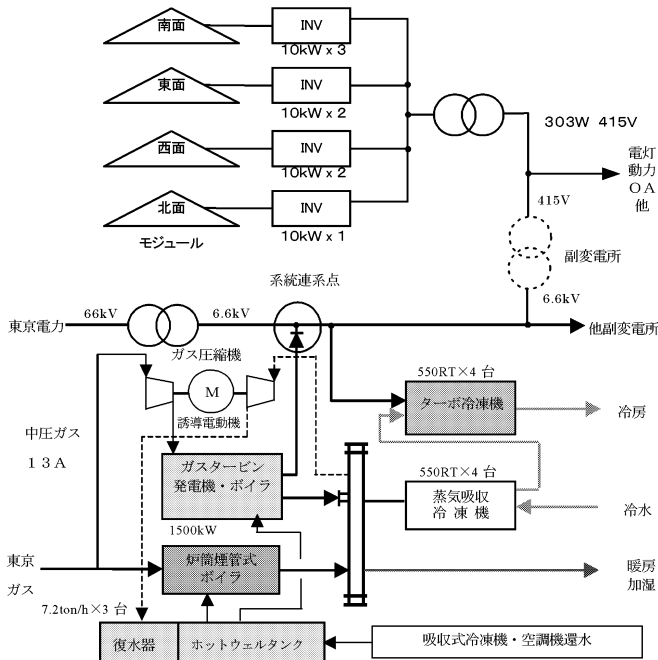


図3 システム構成図

表2 テナント電力使用量と原単位の変化

項目	年度	H.10	H.11	H.12	H.13
テナント電力量(GWh)		8.327	9.602	9.890	11.292
テナント以外の電力量(GWh)		17.241	17.334	17.241	16.151
全電力使用量(GWh)		28.520	26.940	27.132	27.349
全館ガス使用量(千m ³)		913	1,498	1,535	2,772
原油換算値(kL)		8,609	8,918	9,014	9176
空調面積(m ²)		90,855	90,595	90,848	93,369
原単位(kWh/m ²)*		189.71	191.34	189.788	172.976
上記比率(H10比較)		100.0%	100.9%	100.0%	91.2%

*:テナント以外の使用電力量(kWh)/空調面積(m²)

4. 対策の内容と予測効果

1) 発電システムの特徴

CGSで発電した電力を建物に供給し、排熱蒸気を吸収式冷凍機とターボ冷凍機から成る熱源供給システムの熱源とする。具体的

には、冷房負荷の少ない冬期・中間期は、吸収冷凍機を優先運転し、負荷の多い夏期には、吸収式冷凍機+ターボ冷凍機(4システム)負荷に応じて運転するプログラムを導入することで、ガスタービンの排熱を吸収冷凍機の熱源に最優先かつ最大限に利用し、常に高効率運転をさせる。

ガスタービン・発電機を常に定格運転させ、且つ発生蒸気を余剰させない為に、蒸気タービンを導入する。つまり、ガスコンプレッサー同軸上に誘導電動機と当スチームタービンを設けて、回生電力による所要電力低減に寄与させる。

加えて、スチームタービンの出口飽和蒸気を復水器で高温水化し、ボイラ等の給水余熱に利用する。

このような電力、動力、熱を同時に生み出すことができるシステムにより、排熱より回収した蒸気を、暖房>吸収冷凍機>動力>給水余熱用とカスケード利用し、従来型よりも更なる省エネルギー化を図った。

コージェネレーション設備の上部に太陽光発電パネルをピラミッド形状に配置し、別館屋上に設置し、CGSの覆いとともに年間約7~8万kWhの発電を行う計画とした。

2) システムの熱収支予測

- ・今回のCGSの熱収支は事務所ビルとしては高い熱効率(約76%程度)になる。
- ・ボイラ給水のエコノマイザ的利用分の効果は既存の炉筒煙管ボイラ効率を高めており、それを含むと更に熱効率が高くなると想定される。

5. 対策後の効果

1) 効果把握(表2参照)

システムの検証は、計画時と導入後の建物内のエネルギー使用に関する状況の変化を考慮して行う必要がある。テナントの使用電力量が増加した理由は、既存テナントが使用する電力量の増加、電力使用量の多い新規テナントが入居したためである。

コージェネレーションシステムの一年間の稼働実績は、運転時間:300日、発電電力量:550万kWh/年(想定92%)、CO₂削減量は1350トンになった。

加えて、テナント以外に要する電力量の変化は低下していることが読み取れる。また、テナントの使用電力量を基にした原単位は約8.5%程度減少している。

2) 太陽光発電の発電量

発電量は東西南北面の4面合計で約64000kWhであった。予測値と比較して、91%の発電量であるが、北面の部分発電量が予想より少なかったといえる。また1日の日射量と発電量の関係は太陽の動きに連動している結果を得ている。

6. まとめと今後の取組み

実施した省エネルギー対策で約8.5%のエネルギーを削減した(原単位換算)。今後は下記の項目等について更に省エネルギー対策を推進していきたい。

CGSシステムの熱効率向上対策は以下の項目を実施し、更に熱効率向上を図っている。

- ・吸気冷却をおこなっているが、吸気部分の温度が高いため、夏季には定格運転に達しない。専用のダクトを設置し、可能な限り低い温度を供給し、定格運転に近づける。
- ・排熱ダンパについて、閉の状態を避ける。
- ・蒸気ヘッダーの圧力変動による影響、暖気時間の調整を行い、スチームタービン稼働率を向上させる。

◇国際会議報告◇

(1) The 6th ASME-JSME TEC2003

(第6回ASME-JSME熱工学合同会議) 報告

東京工業大学大学院理工学研究科
機械制御システム専攻 伏信 一慶

上記国際会議は、平成15年3月16日から20日までの日程で、米国ハワイ島のハバナビーチプリンスホテルにおいて開催された。ハワイ島はキラウエア火山に代表される雄大な自然に恵まれたハワイ州最大の島であり、オプションツアーのみならず、休日有効に過ごされる参加者の姿が印象的であった。

4年毎の開催で6回目を数える今回は、初めて日本機械学会がいわゆる“lead society”となつての準備・実行となったことから、日本側組織委員会と関係各位の従前にも増しての多大な尽力については特筆の必要があると考えられる。多くの参加者を得て大盛況の内に終了したことは、ひとえに各位のご尽力の賜物である。会期中にイラク攻撃が始まったことで、旅路などに若干の心配はあったものの、最終的に約400名の参加者を迎えるに至り、活発な討論が行われた。

会議では、熱工学における個々の要素研究の更なる深化・高度化の必要性は言うまでもなく、それらの統合、あるいは様々な先端技術分野における熱工学の重要性をも重視したセッション構成となった。基調講演の構成からもその意図が窺え、連日の朝早からの講演にも関わらず多くの参加者が足を運んでいる様子であった。CD-ROM講演論文集には基調講演8件、一般講演367件の講演論文が収録される盛況となり、そのうち概ね半分が日本からの投稿であった。

また、日本側からの多くの学生参加者を得たことは本会議の貴重な成果と言えよう。学生諸君の立派な発表・受け答えなど、堂々たる活躍ぶりに頼もしさを感じたのは筆者ばかりではなからう。

広範な産業分野における熱工学の重要性、あるいは他国の熱工学関係者との連携の重要性を改めて実感する大変貴重な機会となった。今後とも同種の会議が発展的に開催されていくことを祈念してやまない。



オープニングセッションの様子



会場外観

(2) The 28th International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems

2003年3月9日～14日(アメリカ、クリアウオータ)

電力中央研究所 横須賀研究所
エネルギー機械部 芦澤 正美

本国際会議は、DOE、ASME、Coal Technology Association (CTA)の共催で、1975年からはじまり今回で28回目となる。会議は6日間開催され、15カ国から総勢数百人が集まった。開催地はフロリダ州のクリアウオータで、タンパ国際空港から車で西に約40分ほどの位置にある。この時期は初夏で過ごしやすい気候である。最終日には、開催地に近いPolk Power Plantの見学会も開催

された。会議の構成としては、8時から10時までキーノートセッションが設定されており、10時から18時までが技術会議となっている。両者ともに話題性の高いトピックスについて、講演と質疑応答が活発に行われていた。

キーノートとしては、温室効果ガス、気候変動の将来予測、気候変動が経済に及ぼす影響などの問題提起からはじまり、DOEプログラムのVISION21が紹介され、先般、ゼロエミッション石炭火力として世界に発信されたFutureGenが問題解決の中核技術になるとの位置づけで紹介されていた。FutureGenは、出力275MW、CO₂回収90%以上、予算規模10億ドル(10年間)で、酸素吹きガス化炉の後流に水素分離膜を設置し、CO₂は地殻に隔離、H₂は燃料電池やガスタービンに導き大規模発電を行うほか、分散型電源に供給するというプロジェクトである。技術詳細については、今後米国で開催されるピッツバーグ国際会議やDOEのWEBページ等で徐々に紹介されるとのことである。その他、DOEのNETL (National Energy Technology Laboratory) からは、CCPI (Clean Coal Power Initiative) プログラムとして、PM2.5や水銀除去の研究に取り組んでいることなどが紹介された(詳細はwww.netl.doe.gov/coalpower/ccpiに掲載のこと)。

テクニカル会議では、約160件の発表が行われ、分野別の発表件数は図1に示す通りである。バイオマスをはじめ、CO₂マネジメントや水銀等の環境関係のほか、数値解析を含むバーチャル技術等の分野が年々増加傾向にあると言える。技術会議では、特にシミュレーションの発展が、参加者の関心を寄せているような印象を受けた。来年度の開催は、天候を考慮して4月中旬に変更されるようである。

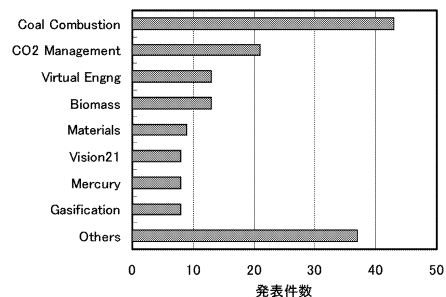


図1 分野別の発表件数

◇研究分科会活動報告◇

研究分科会P-SCD338

石炭利用発電の高効率化に関する調査研究分科会

主査: 佐藤 幹夫 殿 (電力中央研究所)

本研究分科会は、石炭利用発電の高効率化へ向けた将来展望に関する情報交換を目的に設置されており、平成14年4月からスタートした。わが国の一次エネルギー構成比は2000年度において、原子力が12%、水力が3%、石炭が18%、石油が52%、天然ガスが13%、その他が1%となっている。また、同年度における年間発電電力量に占める石炭火力の占める割合は約18%であり、原子力の34%、液化天然ガスの20%に次ぐ、重要な電源となっている。石炭の大きな特徴は可採年数が約230年と他の化石燃料と比較して最も長いことや、中東地域に偏在する石油と比較して世界各地に分布していることにある。エネルギー資源のほとんどを輸入に頼るわが国のエネルギーセキュリティ確保の上からは石炭は重要なエネルギー資源である。しかしながら、他の化石燃料と比較して石炭は単位発熱量当たりの二酸化炭素発生量が多く、地

球温暖化抑制の観点から悪者になっている。

そのため、石炭利用発電の高効率化は、極めて重要な課題であり、高効率化に向けた新技術開発が行われている。微粉炭火力の効率の変遷を見てみると、1950年代初めに25%程度の発電端効率であったものが、1960年代には35%を超え、1970年代以降はほぼ40%で推移してきた。1980年代に入るとわが国初の海外炭焼き超臨界圧化（USC）を採用したプラントが運開され、1990年代後半には主蒸気温度、再熱蒸気温度ともに600℃の時代を迎え、発電端効率は43%に達した。さらに2002年度には主蒸気温度600℃、再熱蒸気温度610℃のプラントが運開し、蒸気条件の向上に伴う高効率化が進められている。さらに海外では700℃を超えるUSCプロジェクトが行われている。

一方、石炭利用発電の高効率化に対して、蒸気タービンとガスタービンを組み合わせた複合発電技術の開発が進められている。加圧流動床燃焼複合発電（PFBC）では、加圧流動床燃焼により発生した熱を蒸気形で回収し、蒸気タービンを駆動するとともに、燃焼ガスはガスタービンに導入されて発電される。また、石炭ガス化複合発電（IGCC）では、石炭をガス化して得られるガス化燃料をガスタービンで燃焼させて発電するとともに、石炭ガス化炉で得られる蒸気と、ガスタービンの排熱を回収して得られる蒸気により蒸気タービンでも発電する複合発電である。すなわち、蒸気タービンとガスタービンを組み合わせることにより、極めて高い効率を得られる。将来的には1500℃級ガスタービンと乾式ガス精製により、送電端効率として48%が期待されている。

また、熔融炭酸塩形燃料電池は、石炭をガス化して得られる燃料を利用できることから、石炭利用発電の大幅な高効率化が期待できる。

このように本研究分科会では、石炭を利用した各種高効率発電技術に関して、それぞれの専門家が技術の現状、将来の見通しを紹介しながら、意見交換、情報交換を行っている。

◇研究所紹介◇

東京電力(株)技術開発研究所 火力発電技術グループ

所在地 〒230-8510

神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4-1

長井 輝雄

1. 始めに

東京電力(株)技術開発研究所では、近年の電気事業を巡る環境のダイナミックな変化に、柔軟かつ効率的に対応できるよう、H14年に選択と集中をキーワードとした研究体制を整備しました。現在、電力自由化や商品開発など特定の課題に 대응するための「プロジェクト型7グループ」、火力発電や送変電など社内部門のニーズにワンストップでタイムリーに対応するための「部門技術型7グループ」、そしてこれらのグループを横断的に下支えする「基盤技術型7グループ」の計21グループが、それぞれのミッションを達成すべく研究活動を遂行しています。

この中で火力発電技術グループは、火力発電設備の建設、運用、保守のコスト低減、効率化などを主要なミッションとして設置され、以下に示すように、火力発電に関する幅広い技術分野の課題の解決や技術開発に取り組んでいます。

2. 設備診断に関する技術開発

火力発電設備の信頼度を維持しながら保全コストを低減するため、検査技術の高度化や寿命診断精度向上に取り組んでいます。検査技術としては、実機の廃却材等を活用しながら、TOFD法やフェイズドアレイ法などの最新の高精度超音波探傷法に関する研

究を進めています。寿命診断に関しては、実機運転データを用いた応力解析による寿命評価やき裂進展解析法の研究を行っています。また、ガス拡散などの流体解析にも取り組んでいます。

3. 性能診断に関する技術開発

火力発電プラントを効率よく運転するための、性能診断に関する技術開発に取り組んでいます。プラントの効果的な補修を行うために、計測データから各機器性能を精度良く診断したり、プラント変更時にその性能を解析するプログラムの開発、また、コンバインドサイクルプラントでは、性能管理に必要なガスタービン出力と蒸気タービン出力を切り分けるためにレーザを用いた高精度軸トルクセンサの開発を進めています。

4. 石炭評価に関する技術開発

石炭火力発電プラントで使用する石炭を事前に評価し、適切な炭種選定、高効率・低コスト運用を実現するための評価プログラムを開発しています。石炭の燃焼試験装置を使用して世界中の石炭の燃焼試験を実施し、そのデータベース化も進めています。また、石炭燃焼時の微量元素の挙動や炭酸ガスの固定化など環境関連技術の研究開発にも取り組んでいます。

5. おわりに

火力発電に関係の深い研究として、当研究所では、この他にも地球環境、廃棄物リサイクル、材料等に関する研究が行われています。

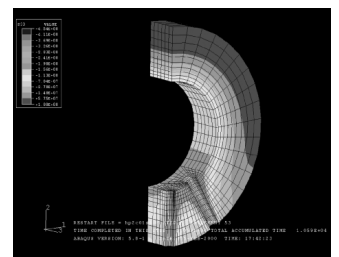
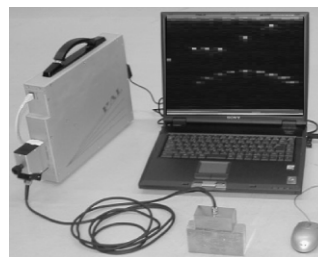


図1 フェイズドアレイ探傷装置

図2 管寄せ熱応力分布解析例

◇地区便り◇

東海発電所の廃止措置開始

日本原子力発電(株) 東海発電所
廃止措置室長 武田 悟

日本原子力発電(株)東海発電所（16.6万kW）は、1966年にわが国初の商業用原子力発電所として営業運転を開始し、30年余りの安定した運転を終え、1998年3月末日に停止しました。

2001年6月末には原子炉内燃料の取り出し及び搬送を完了し、同年10月原子炉等規制法の規定に基づき、原子炉解体届を経済産業省へ提出、同年12月に廃止措置に着手しました。今後、施設を全て解体撤去し、更地の状態にすることを基本としています。

廃止措置は、原子炉領域については約10年間の安全貯蔵期間を経て解体撤去し、原子炉領域以外の付属設備については、安全貯蔵期間中に解体撤去する計画です。総工期は17年の長期に亘るため工期を3期に分割し、

第一期（2001年12月～2005年）：使用済燃料冷却池洗浄・排水工事、タービン建屋領域機器撤去、原子炉サービス建屋領域機器撤去、燃料取替機等撤去他

第二期（2006年～2010年）：熱交換機等付属設備撤去他

第三期（2011年～2017年）：原子炉本体解体、各建屋解体他となります。これらの廃止措置工事は、商業用原子力発電所ではわが国初めてであり、安全かつ合理的な廃止措置の実証という役割を担っています。当社は、将来の事業化も視野に入れ、東海発

電所で得られる技術ノウハウを蓄積しているところです。

現在終了間近の使用済燃料冷却池洗浄・排水工事（写真1）では、社員自らが使用済燃料収納ラック29基の洗浄、切断、梱包、容器収納等を行う直営工事を実施しました。これにより、除染技術、切断工法等の解体基本技術・ノウハウを得るとともに、作業手順や切断工法を適宜見直し、最適化を図ったことにより大幅な作業の効率化や廃棄物低減が達成できました。

作業を通じて得られた機器撤去工数、放射線データ、廃棄物データ、技術ノウハウ等は、蓄積を重ね、後の廃止措置工事計画に役立てていく予定としています。

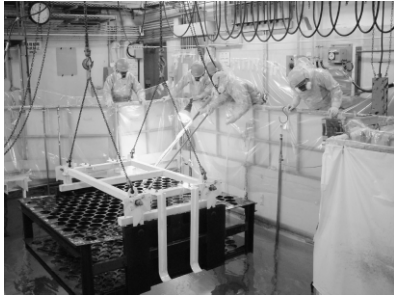


写真1 使用済燃料冷却池洗浄・排水工事

◇講習会報告◇

(1) 動力エネルギーシステム部門見学会
宇宙開発事業団 (NASDA) 種子島宇宙センター
2002年10月3日～4日
部門企画委員会 湯浅 三郎

国際宇宙ステーションの利用が現実となりつつある昨今、宇宙輸送需要に即応した体制・施設の状態を見る機会として、2002年10月3、4日の日程で、鹿児島県種子島の東南端に位置する日本最大のロケット打ち上げ基地である種子島宇宙センターを見学しました。種子島へは、鹿児島から小型旅客機のYS-11で40分、あるいは高速船で1時間30分かけて行くしかなく、欠航の恐れもあって天候が最も心配されましたが、幸い両日とも素晴らしく良い天気でした。

種子島宇宙センターは、南北およそ5km、東西およそ1.5kmの大規模なロケット射場で、重さ約4トン級の人工衛星を静止軌道に打ち上げることのできる大型のH-IIAロケットを現在は打ち上げています。以前は見学が比較的オープンでしたが、一昨年のアメリカでのテロ以降はセキュリティが極めて厳しくなり、今回の見学では見られない施設もありました。世界情勢が及ぼす影響の大きさを実感した次第です。それでもNASDAの現地の方々のご尽力によって、初日は、打ち上げたロケットや人工衛星の保安追尾や追跡・管制を行う増田宇宙通信所と国際宇宙ステーションやロケット技術の展示を行っている宇宙科学技術館、2日目は、打ち上げに関わる最終決定を行う竹崎指令管制棟・小型ロケットを発射する竹崎射場・固体ロケット燃焼試験場・H-IIAロケットを打ち上げる吉信射場の増強型射座・吉信発射管制棟（危険区域規制のため待避用地下トンネル通路から入館という貴重な体験をしました）・大崎第一ロケット組立棟に保管されている従来型のH-II 7号機を見学することができました。これらの施設は、現在の動力エネルギーシステムとは直接的な関連がないかもしれませんが、宇宙での動力源や遠い将来の太陽光発電衛星、地球規模の環境問題の観測などを通じて、ここ種子島と深い関係が生ずるかもしれないと思いを抱き、種子島宇宙センターを後にしました。

なお今回の参加者は総勢23名でした。宇宙センター見学という

技術的な興味以外にも、種子島という鉄砲伝来の島、南の島の空と海の青さ、などを堪能することができ、印象深い見学会でした。



図1：種子島宇宙センター発射場の全景と集合写真



図2：改修中のH-IIAロケット発射台

(2) 部門別講習会02-57「新エネルギーシステムの最前線」
部門企画委員会 藤井 衛
(石川島播磨重工業)

2002年11月17日に日本機械学会会議室において、参加者23名にて「新エネルギーシステムの最前線」の講習会が開催されました。

本講習会では、実用化に近い技術から、将来的な技術まで、新しいエネルギーの研究開発の現状と将来展望について、最前線でご活躍中の研究機関や大学の講師の方々に講演いただきました。

まず、水素の利用技術に関し、エネルギー総合工学研究所 小林紀主管研究員より、WE-NETプロジェクトの概要、水素エネルギーのインフラ整備を含む燃料電池導入シナリオ等について講演がありました。

引き続き、エンジニアリング振興協会 浅沼憲幸研究主幹より、「水素社会」を実現するための、水素製造から消費に至るまでの輸送・貯蔵の役割およびその技術開発の現況について講演がありました。

午後からは、石油資源を凌ぐと言われているメタンハイドレートの資源化に関し、産業技術総合研究所 成田英夫副部門長より、資源開発への取組み、基礎研究から実用化技術に至るまでの解決すべき課題について講演がありました。

引き続き、京都大学 篠原真毅助教授より、将来の巨大クリーン発電として注目されている宇宙太陽発電所の概要と現状、その基盤技術であるマイクロ波エネルギー伝送の研究現状について講演がありました。

最後に、モバイル電源として最近話題の炭化水素系燃料を利用するウルトラマイクロガスタービンについて、東京大学 吉識晴夫教授より、H13年度NEDO資金による開発経過を中心に、その開発状況の講演がありました。

参加者は23名と少なかったですが、参加者が少ない分、会場はゆったりとしていて、講演の後の質疑も活発におこなわれました。

アンケート結果でも、多くの出席者から「期待した通りだった」との回答がありました。



講演会の様子

◇平成14年度部門賞受賞者所感◇

(1) 動力エネルギーシステム部門賞(功績賞)を受賞して



西日環境エネルギー株式会社
代表取締役社長 石井 國義

この度、日本機会学会動力エネルギーシステム部門功績賞を頂き、身に余る光栄と心より感謝申し上げます。

私は昭和32年に九州電力に入社し、以来主として火力部門の仕事に従事して参りましたが、この間、幾多の社内の先輩、同僚、後輩の方々、また他電力やメーカー各社の関係者の方々にご指導ご鞭撻頂きました。こんにちの受賞はこれらの方々のおかげでもともと深く認識いたすと共にまた私をご推薦頂きました関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

さて私が九州電力に入社いたしました昭和30年代前半は朝鮮動乱も終わり所謂戦後は終わったと言われた日本経済の本格的復興が始った時期でありました。電力についていえば電源拡充を始めとする電力設備整備拡大が始りました。火力については九州の苅田、関電多奈川、東電千葉など米国直輸入のタービンボイラー一機一缶の所謂ユニット方式新鋭火力全盛時代の幕開けでありました。

私は当時九電の国産第一号機である港一号機156MWの建設工事に携わり新鋭といわれた火力技術の一端を経験する機会に恵まれました。また、昭和36年から38年にかけては、アラビア石油に出向、GEのスケネクタディー工場で当時、日本国内ではあまり知られていなかったガスタービンを勉強する貴重な機会にも恵まれました。

これが、後年九州電力の新大分一号系列にいち早くガスタービンコンバインドサイクルを採用する決断の伏線になりました。昭和39年は東京オリンピックの年でありましたが、電力では石炭から重油への燃料転換期を迎え各社共20万KWから30万KWクラスの当時としては大容量火力が続々と各地で建設されておりました。

又、自動化の走りである電算機制御が各所で技術検討の中心になっていました。産炭地を抱えた九州電力でも昭和40年代初めにやっと大分250MWで待望の重油火力の実現を見ました。やがて高効率の超臨界圧ユニットの採用論議が始りましたが、中央三社では姉ヶ崎一号600MW、知多三号500MW、姫路第二の四号機450MWに米国直輸入の超臨界圧ユニットが導入され私も九電の導入検討チームの一員としてこれらの発電所に勉強に伺った事を覚えています。またそれまで九電では自社で行っていた機器据付工事をコスト重視の観点からメーカー据付に切替えたのもこの暫く後の事でした。

昭和48年のオイルショックの最中でのインドネシアLNG導入で戸畑LNG受け入れ基地計画立案や、昭和50年前半にGE製E型1100℃級のガスタービンの出現により熱効率44%のコンバインドサイクルを

新大分一号機に採用、将来の少子化に備えてコンバインドサイクル運転業務の無人化、建設工事の自社社員による機器据付工事の復活を決断した事などは思い出多いものがあります。

地球環境問題をにらみ石炭火力のさらなる効率向上を狙って苅田一号機に加圧流動床複合発電の導入を計画実現した事も多少手前みそになりますがパイオニアとして意義があったものと考えております。

この賞を頂くに当たり、改めて歩いてきた道のりを振り返ってみる時、日本の高度成長に伴う電力需要急増期における火力電源の増設、オイルショックによる燃料多様化、原子力電源のベース化に伴う既設火力設備の負荷調整機能向上対策などなど技術的向上心を満足させて頂ける機会に恵まれた時代であったと実感が心の底から沸き上がってくる思いであります。

日本の電力は昭和26年5月現在の全国9電力体制が出来上がって安定供給と信頼性確保を第一に約50年経過しましたが、これからは電力全面自由化を視野に入れ生き残りをかけた競争時代に移行していきます。経済性がより一層重視される事となり、同時に地球環境、並びに資源節約にも十分配慮していく必要があります。

私も電力事業の一端につながる業務を担当するものとして、以上に述べた命題解決にこれからも微力ながら努力を続けていく所存であります。

最後になりましたが、会員諸兄のご健勝と日本機会学会の今後の益々のご発展を衷心より祈念致す次第であります。

(2) 功績賞を受賞して



Purdue大学原子力工学科
Walter H. Zinn Distinguished Professor
石井 護

このたび功績賞を戴き、身に余る光栄と感謝致しております。アメリカで研究をしております私の仕事がこの様な形で日本の学会に評価して戴けた事は深い喜びでございます。

私は1966年にアメリカに留学して以来、二相流、原子炉安全解析分野の研究をジョージア工科大学、グルノーブル原子力研究所、アルゴンヌ国立研究所およびパデュー大学において続けてまいりました。私がこの分野で大学院教育を受けた頃は、二相流の二流体モデル等も確立されておらず、厳密な積分平均に基づいた基礎方程式の数学的定式化、また、二相流の流動不安定の理論解析から研究を始めました。密度波の伝達とそれに伴う圧力損失の関係をドリフトフラックスモデルの基礎微分方程式を積分して解くことにより不安定現象に対する特性方程式を導き、D分割法とナイキスト法により安定限界を求めました。システムの安定性は安定判別線図における限界線によって表されますが、この特性方程式の無次元化により二相流システムの相似則を支配するいくつかの無次元数が明らかになりました。これらの無次元数は、その後、原子炉等を模擬する大型実験装置の相似設計の基本となる重要なものであり、そのうちの一つはジョージア工科大学で私の博士論文の指導教官を務めて下さいましたズーパー教授の二相流における数々の業績を称えてズーパー数と呼ばれる事になりました。

二流体モデルを含む二相流基礎方程式の厳密な数学的定式化、そしてそれを数学的に閉じるために必要な構成式に関する研究は、私の博士課程の半ばから始め1974年のフランスのグルノーブル研究所における1年半の研究を経て、1975年に“Thermo-fluid Dynamic Theory of Two-phase Flow”と題してフランスより刊行致しました。

1974年から1988年の14年間はアルゴンヌ国立研究所で二相流のモデリング、高速炉安全解析、軽水炉安全解析コードの為のモデル開発等の研究を行いました。当時は、初代アルゴンヌ国立研究所所長のWalter H. Zinn博士と共に世界に先駆けて高速炉、軽水炉等多くの原

子炉を開発設計した方々が何人も残っておられ、多くの事を教えて頂きました。世界最初の原子力発電がアルゴンヌのEBR-1で行われたのは1951年の12月ですから当時の私から見れば僅か25年ほど前の出来事だったのです。このように幸運にも私は二相流および原子炉安全解析分野が科学として確立され始めた時期に研究を開始する機会を得ました。新しい分野にはエネルギーと情熱を持って研究に打ち込む人が多く、進歩が早く研究の課題も豊富で面白いものでした。

1988年に私はパーデュー大学の原子力工学科に移り、研究だけでなく大学院の教育を通して原子力分野の次世代の研究者、指導者を育成することになりました。エネルギー問題はこれから世界人口の増加、環境問題を含めて人類最大の工学、政治問題となることでしょう。その中で原子力の果たすべき役割は大きく、これからの若いエンジニアのチャレンジも増大することでしょう。今後の日本機械学会動力エネルギーシステム部門の皆様の益々のご活躍を祈念致しております。

(3) 平成14年度部門賞受賞者の所感



三菱重工業株式会社
特別顧問 永井 康男

この度、功績賞を頂戴致しまして、誠に身にあまる光栄であると感じております。私が賞を頂くことが出来たのはコンバインドサイクルプラントの主機としての大型ガスタービン及び、中小型高温ガスタービン発展にいささかではありますが貢献させて頂いたことへの評価であろうと思います。

私がガスタービンに関係し始めた昭和40年代初めのタービン入口温度は約730℃。それが1000℃級の次の世代のガスタービンへ発展するきっかけとなったのは50年代前半に合計で30台近く受注したアラムコとカタール水電力庁向けのプロジェクトでした。

アラムコはすでに多数のガスタービンを運用してきた実績から、当社に対して全部品の即納体制を作れと要求し、カタールは私共が開発した1000℃級ガスタービンの初号機であることから初号機を工場ですべての時間全負荷対応運転を行なってその信頼性を実証すべしと要求してきました。

この様な当時としてはきわめてハードルの高かった客先要求を当社の体質を改革することでクリアしてプロジェクトを完成させたことが、ガスタービンメーカーとしてのその後の発展につながったと言えます。

一方、同じ頃当社は従来の火力から飛躍的に効率をアップさせるべくコンバインドサイクルプラントの主機として、1150℃級の大型ガスタービンの開発に着手しました。

このガスタービンの開発のポイントは、翼面を冷却空気で覆うフィルム冷却方式の開発と、厳しいNOx規制値をクリアするための世界初の予混合方式燃焼器の開発でした。

基礎試験や要素試験を繰り返し、最終的には工場ですべての時間全負荷運転を行なってこれ等の新技術の機能と健全性を検証しました。

昭和60年、このガスタービンを主機とする東新潟発電所3号系列は109万KWで運転開始し、当時としては世界最高の44%を達成すると共に内閣総理大臣賞を受賞しました。

この様に今振り返ってみますとこの3号系列において開発された翼冷却・NOx低減等の新技術や工場での全負荷運転を含めた各種の試験や検証等の技法がその後の高温ガスタービンの発展に大きく貢献したと信じております。

現在はタービン入口温度は更にアップして1500℃の時代になってきておりますが、どの様な時代になろうとも新技術を開発し、徹底的に検証して信頼性と機能を確認する等してその時代の要望に応えるこ

とは可能であると信じております。

今回の受賞を励みとして今後共、技術の研鑽に努めて、いささかなりとも社会に貢献しつづける企業であるべく努力をして参りたいと思っております。

◆セミナー&サロン 講演概要◆

(1) 今日の原子力発電所ができるまで —安全思想の変遷を中心にして—



(財)原子力発電技術機構 技術顧問
武蔵工業大学 客員教授 石川 迪夫

人類が初めて臨界を経験したのは1942年の暮、第2次世界大戦の最中でした。当時の様子を描いた絵が米国原子力学会50年史に載せられていますが、手で制御棒を出し入れし、ガイガー管の発する音で核反応状態を判断する有様が描かれています。その絵の右上隅の炉上面横には、三名の人がボツンと居ます。その手にはボロンが入った袋が有り、緊急時に命令一下原子炉目がけて投げ捨てて逃げるのが役目でした。今で言えば後備停止装置の役目を人間が果たしていた訳です。僅か60年ほど前の話です。安全とは人手で守るもの、自分自身で守るもの、それが昔の安全原則でした。

それから十年、核の国際競争は熾烈を極めました。原爆の材料を造り出す原子炉は次第に大きくなり、それに伴い原子炉の除熱技術が必要となり進歩し、結果として発電用原子炉の設計が可能となりました。1953年のアイゼンハワーの原子力平和利用宣言は、こんな技術的進歩を背景にしてのものでした。各国は原子力発電の開発に力を入れました。ただ、軍事技術を市民の住む街の中に持ち込む訳ですから、安全性が特段に留意されたのは言う迄も有りません。でもその当時の安全対策は二つ。万一を考慮しての広大な敷地を用意する、放射性物質の確実な管理を行う、でした。今はもう解体されて残っていませんが、その当時作られた SHIPPING PORT 発電所には格納容器が3つありました。1つは原子炉用ですが他2つは蒸気発生器用です。格納容器とは苛酷事故対策のためではなく、放射性物質の管理が目的でした。

1960年代、実に色々な発電所設計が提案されました。システム工学、自動制御工学の発展によって、設計が進化進展を続けたからです。その折安全設計の必要性について警鐘を鳴らしたのがSL-1の事故でした。潜水艦の乗組員訓練用とは言え、歴とした軽水炉の一族です。この原子炉が暴走して爆発を起こしたのです。急遽米国では、実炉を使っての安全性研究が始まりました。実炉に事故状況を再現させて、放射線災害を引き起こす条件と理由を究明するものです。事故現象を詳細に解明するために、実機に似せた大型の支援実験がいくつも準備され、また、幅広いパラメータ変化の許で分担実施されました。実験解析には、その頃丁度開発された大型計算機が利用されました。今日使用されている安全設計のための設計手法、また判断根拠は、すべてこの安全研究の成果と言って良いでしょう。当時軽水炉を使用し始めた日本とドイツがこの研究に大きく協力した事実も伝えねばなりません。

安全設計の確立、言い換えれば安全設備と言う名の機械に安全を委ねる考え方は大成功を納めました。設計基準事故 (DBA)、単一故障指針、他の災害との組み合わせ、等々論理的補強が加えられ、今日の安全設計に従った原子力発電所の安全性が、他産業と比較して桁違いであることは、確率計算によって証明できます。

ところが皮肉なことに、安全研究がほぼ終局を迎えた80年頃、TMI事故 (79年)、チェルノブイリ事故 (86年) が起りました。何れも人為ミスが数多く重なって炉心溶融を引き起こしたものです。安全設計を如何に強化しても限度が有る、それを防ぐには安全に携わる人間の注意と、万一事故に至った場合それを軽減させる人間の智慧に頼

る以外に方法はない。前者は安全文化として、後者は事故対応（アクシデント・マネージメント）として発展しています。

機械設備と人間が互いに特長を活かし合って守る安全、これが今日の世界における原子力安全の考え方です。安全設備は可能な限り設置されねばなりません、無くとも安全規則の補強によって安全が強化されるならば運転は認められます。原子力安全の本質に関する事柄のみ規制が関与すると言う、米国のリスクに基く規制の実施は、40年間にわたる安全実績を更に加味した結果と解釈して良いでしょう。

ここで深層防護について述べておきます。深層防護とは米国の国防の考え方です。国防とは、隣国と仲良くし、紛争の種を検知し、紛争が起きた場合局部紛争に止めると言う三段構えの考え方です。これを原子力発電に適用して、良い物を作る（品質管理）、故障や異常状態を検知する（安全保護系）、放射線災害に到らせない（工学的安全設備）と言う考え方で、先に述べた安全設計とは別個の考え方です。両者合わせて、丁度縦糸と横糸で布が織られるように、安全を創ります。多重防護とも訳され、時折多重の防護壁（燃料のさや、圧力バウンダリ、格納容器）と混同している人を見掛けます。念のため。

JCO事故以来、防災が現実味を帯びて語られるようになりました。防災は苛酷事故時対応の究極に位置するものとは言え、欧米では設置許可の条件となっています。これまで日本がおどりにして来た事項でした。その内容はともすれば形式に流れがちですが、実質的に何が必要か、今十分に詰めておく必要があります。

安全文化の重要性は、物凄い勢いで世界の安全界を今動かしています。これまでは修身道徳のような原理原則論でしたが、安全文化の実践が現実的に営業成績の向上に繋がる事例が多いためです。安全マネージメントなどと言い換える人も居ますが、私は原子力発電に通じた運転管理そのものと理解しています。

東電事件をきっかけに維持基準が認知されようとしています。当然のこととは言え遅きに失した感が有ります。いま世界は、安全文化の確立、言い換えれば原子力発電に適した運転管理方法を、規制方法も含めて模索中です。日本もこれに参加せねばいけません。その中から、また新たな安全への考え方が誕生してくることでしょう。

(2)「電気事業120年の歴史

～電気の史料館に見る物作りの重要性～



東京電力(株) 取締役
技術開発本部副本部長 岩科 季治

今日、電気は空気と同じように有って当たり前となった。しかし今日に至るまでには、120年にわたる多くの先人たちの苦労や努力の歴史がある。技術発展の履歴を示す貴重なモノも放っておくと、散逸したり破棄されてしまう。東京電力50周年記念事業として設立した「電気の史料館」では、これらの実物を技術史料として保存・展示し、技術・事業史の専門家に一つの産業史としてご覧頂くと同時に、広く一般の方々にご理解頂きたいと期待している。

我が国では、沖縄を除く全国九つの電力会社の系統が繋がっており、それぞれが別々の電力プールになっている。それぞれのプールの大きさや形は異なるが、緊急時などに備え九つのプールは電気の水路（連係送電線）によって接続されている。ただこの水路はもともとが緊急時用であり、プールの大きさに比べると狭くて細い。加えて東日本と西日本では水質（周波数）が異なるので長野県と静岡県には周波数変換所とよぶ特別な接続水路がある。つまり全国どこにでも、いつでも好きな量をやり取り（融通・託送）できると言うわけにはいかなのが現状である。

発電所でできた電気は、それだけでは半製品である。いろいろな発

電所の電気が一緒になって、電力系統という電力流通ネットワークを通り、お客さまの使いやすい電気に加工されてはじめて安心して使える「商品としての電気」になる。

最近ではオンサイト発電として自家用の発電機が話題になっているが、その多くは電力会社の電力でバックアップされて安定運転をしている。中には電気と熱を同時に利用するタイプのものもあり、便利この上ないもののように考えられがちであるが、軽負荷時に末端の電圧が上昇し適正電圧幅を逸脱するケースがあり、機器の寿命短縮・損傷など大変憂慮すべき問題となっている。

今日の電力供給システムのはじまりは、エジソンがニューヨークとロンドンで直流による電力供給を始めた1882年からであるが、翌年、早くも東京電力の前身に当たる東京電燈が創設された。電気事業の創業は、世界の片隅の小さな農業国に過ぎなかった明治期の日本で、世界の最先端産業に取り組んだ先人たちの情熱、チャレンジ精神を示すものである。

このように日本の電気は世界でも最も安定していると言われているが一朝一夕にして出来上がったものではなく、120年におよぶ先人たちの懸命な努力が背後を支えているのである。

◇運営委員会報告◇

第80期動力エネルギーシステム部門総務委員会
幹事 富山 明男

当部門の最高議決機関である運営委員会は、部門長、副部門長、部門幹事と、各支部から推薦された代議員から部門長が指名した運営委員、ならびに部門長が指名する本部門所属委員会委員長によって構成されており、原則として年2回開催することが当部門要項に定められております（総務委員会幹事はオブザーバーとして参加しています）。第80期は、10月25日に第1回運営委員会を開催し、第80期予算・行事計画、部門賞贈賞者などについて議論を行いました。第2回運営委員会は、本年4月11日に開催され、第80期部門活動成果・決算、及び第81期活動計画・予算等について、第80期、81期の運営委員会メンバーが一堂に会して審議を行いました。運営委員会では、上記のような行事計画・予算・決算等の通常審議事項のほかに、部門登録会員の皆様へのサービスを高めていくための方策についても常に審議しております。当部門の運営や行事などにご意見やご提案をお持ちの方は、是非お近くの運営委員までお知らせください。

ニュースレター発行広報委員会

委員長：大河 誠司（東工大）
幹事：加藤 千幸（東大）
ホームページ担当：伏信 一慶（東工大）
委員：麻生 智一（原研） 小野塚正紀（三菱重工）
小見田秀雄（東芝） 堂元 直哉（石播）
下村 純志（日立） 西村 元彦（川重）
原 三郎（電中研） 三宅 取（サイクル機構）

オブザーバー：大竹 浩靖（工学院大）
部門のHP（日本語）：<http://www.jsme.or.jp/pes/>
（英語）：<http://www.jsme.or.jp/pes/English/>
投稿、ご意見は下記宛にお願いいたします。

〒152-8552
東京都目黒区大岡山2-12-1
東京工業大学大学院理工学研究科機械物理工学専攻
助教授 大河誠司
Phone: 03-5734-3308（直通）
Fax: 03-5734-2893（学科共通）
E-mail: sokawa@mech.titech.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 © 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。