

特集：原子力発電所における安全・安心

総括

北村 正晴^{*1}

KITAMURA Masaharu

キーワード：原子力発電所，安全と安心，リスク認知，リスクコミュニケーション，信頼

1. はじめに

原子力発電所が50基を越えるわが国において，その安全・安心問題は，立地地域住民の方々にとってはもとより消費地市民の方々にも大きな重要性を持つテーマである。原子力に関する議論はしばしば原子力の受容・廃絶の議論に転化してしまう。本稿ではその種の議論は別問題として，現に稼動している原子力発電所について安全・安心の問題を論じることとする。

具体的解説に入る前に，内容を構成している背景知識の由来を簡単に紹介しておく。筆者は2002年からは原子力施設立地地域において，住民の方々と原子力の諸問題に関する少人数・反復型の対話活動を継続中である。これまで様々な地域住民グループと50回を越える対話セッションを実施してきた。また原子力についての意見が対立する専門家が聴衆の前で徹底した討論を行う場も主催してきた。これらの対社会活動から得られた経験知⁽¹⁾⁻⁽³⁾と原子力発電所に関する工学的知識とを総合する形で本稿を執筆した。

2. 原子力発電所の基本説明

原子力発電所の安全問題を論じるに先立って原子力発電所の構造と機能（働き），さらに動作実績に関して概略の説明を記す。限られた紙数のため，説明は，本稿の理解を助けるため最小限のものとしていることを了解されたい。

2.1 系統構成と基本動作

典型的な原子力発電所の系統図を図1⁽⁴⁾に示す。原子力発電所は沸騰水型と加圧水型に大別されるが，この図は加圧水型原子力発電所に対応している。

「原子炉圧力容器」と記されている領域中の「燃料」と記載されている部分がエネルギーを生み出す原子炉の炉心部に相当する。ここで核分裂反応により放出された膨大なエネルギーが熱エネルギーとして冷却材である水を加熱する。温度上昇した水は，原子炉圧力容器を出て，

蒸気発生器（熱交換器）へと導かれる。蒸気発生器の中で高温水（1次冷却水）は逆U字型の形状を持つ多数の細い伝熱管群の中を流れながら，外側の低温水（2次冷却水）に熱を伝える。

1次冷却水は2次冷却水に熱を与えて低温になった後，冷却材ポンプによって駆動され原子炉に戻る。そのときの水温は大体284℃程度になっているが，原子炉内を流れるうちにまた320℃まで加熱されることになる⁽⁵⁾。この「原子炉⇒原子炉出口配管⇒蒸気発生器入口配管⇒蒸気発生器⇒蒸気発生器出口配管⇒冷却材ポンプ⇒原子炉入口配管⇒原子炉」という閉じた流路体系を1次ループまたは1次系と呼ぶ。この1次ループは150～160kg/cm²という高圧に保たれている。このため冷却水の温度が320℃まで加熱されても，沸騰は起こらない。このタイプの原子力発電所が加圧水型と呼ばれるのはこの理由による。

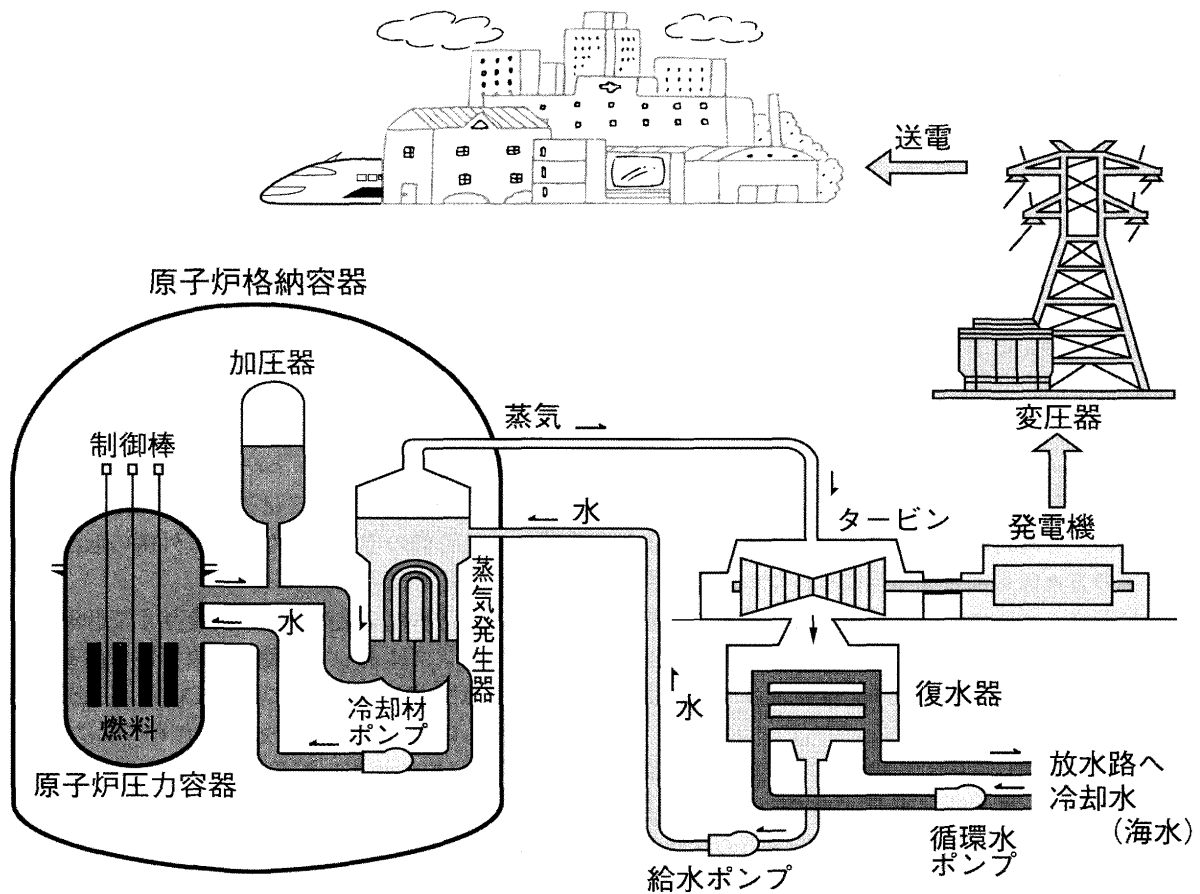
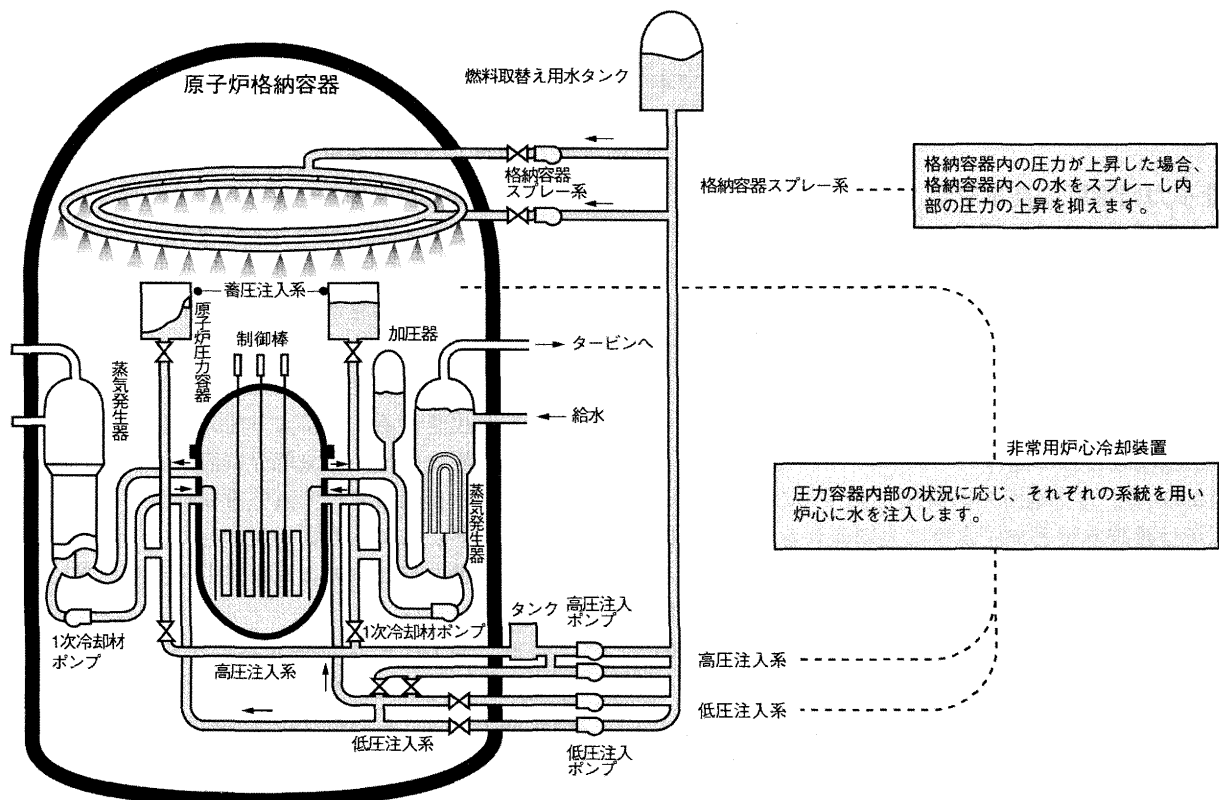
加圧水型原子力発電所においては1次ループ内の圧力を一定に保つことが重要な意味を持つ。このため原子炉出口配管から蒸気発生器入口配管へつながる配管の途中に，加圧器という装置が設けられている。加圧器は一種のタンクであるが，その下半分は水，上半分は蒸気で占められるように圧力，温度が制御されている。加圧器は1次系冷却水とつながっているため，加圧器上半分の蒸気領域の圧力が1次系圧力を規定する。圧力が低下したときは水領域中に設置された電気式ヒーターが作動して蒸気を発生させることにより圧力を回復させる。圧力が増加した場合には，蒸気部分に設置されているスプレイから低温水が散布されて蒸気を凝縮させることで圧力を低下させる。これらの動作によって，1次ループ内の冷却水は沸騰を起こさぬような圧力・温度状態に維持されている。

これに対して，1次側からの熱を受け取る2次冷却水側は，圧力が低く保たれているので，沸騰が起こり蒸気が発生する。その蒸気は蒸気発生器出口配管から流れ出てタービンに移送されタービンが回転することでそれと結合された発電機の回転子が回転し電気が生成される。タービンを回転させた後の低温蒸気は復水器に導かれ，海水と熱交換することで凝縮水に相変化する。この

原稿受付 2008年9月29日

*1 東北大学 未来科学技術共同研究センター

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-10

図1 加圧水型原子力発電所の系統図概略⁽⁴⁾

出典：資源エネルギー庁「原子力2003」より

図2 非常用炉心冷却設備、原子炉格納容器スプレー設備の概念図⁽⁴⁾

凝縮水は給水ポンプによって駆動され、蒸気発生器入口配管を経由してまた蒸気発生器の2次側に流入することになる。1次ループ内の冷却水は炉心内を通過する際に放射化されているが、2次ループ内の冷却水は原子炉との直接関係がないため、放射性を持たないことが加圧水型原子力発電所の大きな利点になっている。

さらに压力容器、蒸気発生器、加圧器、1次系冷却材ポンプなどを囲い込む形で格納容器という巨大な構造物が設置されている。この格納容器は、万一事故が起こり一次系の冷却水が全量漏れ出して蒸気になった状態が生じて、その蒸気を閉じ込めておけるようにサイズや材質が定められている。

格納容器内部の機器群を、石油、天然ガスなどの化石燃料を燃焼させて使うボイラーで置き換えれば、火力発電所の構成と同じことになる。言い換えれば原子力発電所は、火力発電所のボイラーの代わりに原子炉または原子炉と蒸気発生器を用いた蒸気タービン式発電所とみなすことができる。

格納容器内部には、図1の機器類に加えて、炉心や格納容器を緊急時に冷却するための非常用炉心冷却設備、原子炉格納容器スプレイ設備などが配備されている。この概念図を図2⁽⁴⁾に示す。配管の破断が起こって1次冷却水が格納容器内部にあふれ蒸気となった結果、格納容器内部の温度、圧力が増大して格納容器の健全性を損なう恐れがある状況になれば、格納容器スプレイ装置が作

動してドーナツ状に配置された水管から水がシャワー状に放出される。これによって蒸気の冷却、凝縮が起こり、温度、圧力が低下することで、格納容器の健全性が維持できるとされている。

なんらかの理由によって1次冷却水が漏洩した場合、压力容器内の水位が低下して炉心本体すなわち核燃料集合体が露出する状況は、燃料の破損、放射性物質の放出につながるため回避しなければならない。図2には明示していないが、压力容器内部にも格納容器スプレイと同様にドーナツ形状をした水放出用装置すなわち非常用炉心スプレイが設置されている。これらの設備は安全上の配慮から複数系統設置されているため、格納容器内は配管系、ポンプ類、弁類などが配置され、幾何学的に複雑な体系を構成している。

2.2 安全設計の考え方

原子力発電所に関するここまでの説明は、発電用の蒸気を発生する仕組みと事故時の安全を確保するための非常装置とに絞ってその概略を紹介したものである。安全設計という観点からは、これらの装置を含めて段階的に体系化された機能上の工夫が導入されている。この段階的安全設計の概念を図3⁽⁴⁾に示す。

安全性確保方策は、次の3段階からなる段階的構成とされており、前段がミッション遂行に失敗しても次の段が機能を発揮して安全を守るという思想すなわち深層防

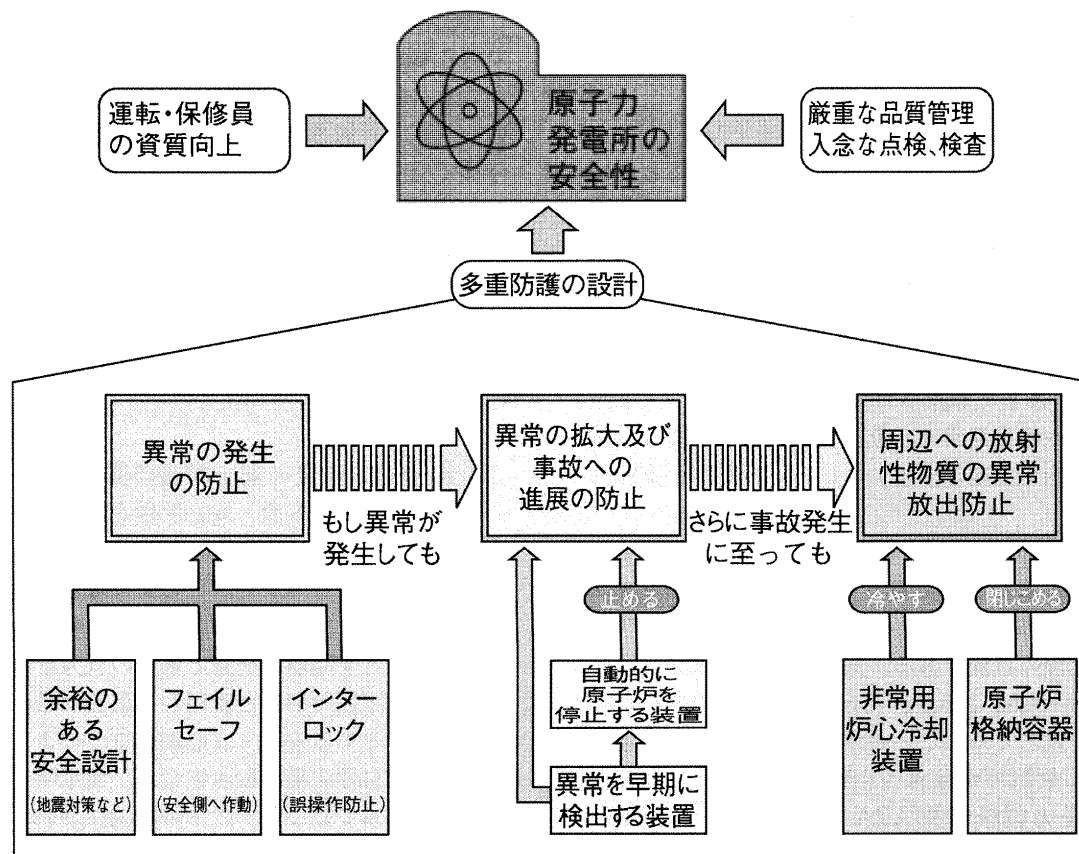


図3 深層防護思想に基づく原子力発電所安全設計⁽⁴⁾

護の考え方が採用されている。具体的には ①異常発生防止のための設計, ②万一異常が発生しても事故への拡大を防止するための設計, ③万一事故が発生しても放射性物質の異常な放出を防止するための設計, という3つの段階で安全の確保が目指される。

①の目的を実現するために、余裕のある安全設計、フェイルセーフ設計、インターロックなどの工夫がなされている。

余裕のある安全設計の意味は自明であろう。機器や配管系の品質、材料強度、多重度などに余裕がある設計にしておけばそのことが故障の発生頻度を抑えることが期待できる。

機器類に異常が生じた場合、その影響が安全側の効果をもたらすような設計がフェイルセーフ設計である。交通信号機に異常が生じた場合には赤信号になる；石油ストープが転倒すると自動的に消火する；原子炉中の中性子レベルを低下させるための制御棒では電源が切れると制御棒が自動的に炉心内に挿入され核反応を停止させる；などがその具体例である。

安全上問題となる機器の動作や操作を自動的に抑制する機能や、安全上必要な機能がある条件下では自動的に作動する機能をインターロックと呼ぶ。日常的例では、駐車したときにシフトレバーを「パーキング」位置に入れない限りキーが引き受けられないような方式が、原子力発電所では一定の手順を踏まない限り原子炉の出力を増大させる制御棒引き抜き操作は許容されない、などの方式がそれに当たる。原子力発電所ではこれらの工夫が随所に組み込まれて安全性の向上が図られている。

2.3 安全実績

原子力発電所の運転実績が社会的に許容される程度に高い安全性を保ってきたと考えるか否かについては市民の中では大きな個人差がある。原子力に否定的な見方をする市民の中では、原子力発電所は繰り返し事故を起こしていて危険きわまりないという考え方もある。一方で、原子力に肯定的な見方をする市民の中では、これまでに「原子力事故」として報道されているトラブルの大多数は単純な故障や動作異常であり、安全を脅かすような重大な事故は国内では起こっていないという見方が支配的である。

このように評価の分かれる安全実績であるが、その背後には後述する安心感の要因もあり、見解のギャップを埋めることは容易ではない。ここでは国際的に標準化された安全評価の目安である、国際原子力事象評価尺度、INES (International Nuclear Event Scale)⁶⁾の観点から安全実績を俯瞰してみることとする。この尺度は原子力施設の事故・故障の事象報告の標準化を行うことを目的として原子力国際機関IAEA (International Atomic Energy Agency) と、経済協力開発機構OECDの下部機関である原子力機関NEA (Nuclear Energy Agency)

が策定した尺度である。

1992年に各国に対して正式採用が勧告され、日本でも採用されている。

この尺度では、{0~7} の7段階尺度で原子力事象の重大さが評価される。評価の視点としては、

基準1：事業所外への影響

基準2：事業所内への影響

基準3：深層防護の劣化の度合い

の3つの観点が採用されており、それぞれの基準ごとに事象の重大さレベルが評価される。最終的なレベル値としては最大のレベル値が採用される。

詳細な説明は省略するが、レベル0からレベル3までは異常事象と定義され、事故とはされていない。{レベル0, 1, 2, 3} はそれぞれ {安全上重要ではない事象, 逸脱, 異常事象, 重大な異常事象} と呼ばれる。レベル4以上になると事故として規定される。{レベル4, 5, 6, 7} は {施設外への大きなリスクを伴わない事故, 施設外へのリスクを伴う事象, 大事故, 深刻な事故} に概念的に対応している。原子力の歴史上最悪といわれるチェルノブイリ事故はレベル7と評価される。また実質的な被害は無かったものの国内外に大きな衝撃を与えたスリーマイル島原子力発電所事故はレベル5と評価されている。

日本における事例では、1999年に起こったJCO事故がレベル4事故と評価されているが、これ以外には事故として評価されている事例はない。

1988年から2007年までの20年間に国内の原子力発電所で起こったトラブルのうち法律で届出が義務付けられているものは335件となっているが、その内でもっとも高いレベルと評価されているのは1992年に関西電力美浜2号機で発生した蒸気発生器内の伝熱管破断事象であるが、この評価値はレベル2とされている。過去の実績に関する限り原子力発電所でレベル4以上と評価される事故はまったく起こっていないことだけを事実データとして記しておく。この事実データを踏まえて原子力発電所の安全と安心をどう認識すべきかについては次節で考察を進める。

3. 原子力の安全・安心問題の基本構造

原子力発電所の安全・安心問題を考える際には、技術を単独に扱うことは出来ず、技術と社会とのかかわりを視野に入れねばならない。そのようなかかわり方の複雑さから、安全・安心問題は多面的かつ多層的な構造を持つ。このことが問題の把握と解決の双方を著しく困難にしている。問題の構造を整理した議論が必要である。しかしテーマとする安全・安心問題をどのように定義するかは、それ自体広範な論点を含み、簡単明瞭な定義を示すことは容易ではない。以下の議論においては、技術に直接つながる論点を対象として安全問題を論じ、社会とのかかわり方など技術以外の要素が支配的な影響を持つ

論点に関しては安心問題として論じることとする。

3.1 対象問題領域の多面性・多層性

原子力発電所の安全問題を議論するに際して言及される話題の広がりや模式的に図4に示した。原子力発電所だけでなく、核燃料サイクルに関係する原子力施設、たとえば高速増殖炉や使用済み核燃料再処理工場、高レベル放射性廃棄物処分場などの施設の安全問題が、密接に関係する話題として論議されることも少なくない。最近では核テロリズムや核拡散にともなう安全上の脅威が論点になることもある。本稿では、これらの中で原子力発電所の安全・安心問題に視野を限定して考察する。

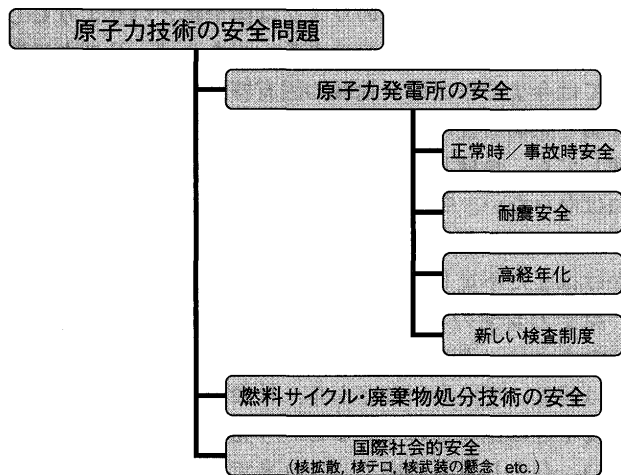


図4 「原子力技術の安全問題」論点（対象問題領域）の多面性

図4には、この限定条件下でも、問題の切り口は多面的であることも示した。原子力安全問題に関する論議の多くは、事故やトラブルが発生したときの安全、すなわち異常時安全性を問題としている。たとえばスリーマイル島原子力発電所事故のような問題の発生は避け得ないとする主張⁽⁷⁾はその代表例である。しかし通常運転状態についても、作業員被ばくや環境への放射性物質放出を問題視して、正常時安全性を疑問視する立場もある。

これらと別種の切り口として、耐震安全問題がある。近年、地震の影響で原子炉が自動停止する事例が何度か経験されているのに加えて、2007年7月16日には東京電力柏崎刈羽原子力発電所が大きな被害を受け、現在も7基の原子炉がすべて停止した状態が続いている。中部電力浜岡原子力発電所では市民団体による運転差し止め訴訟が審理中であるが、ここでも主な争点は耐震問題になっている。最近導入された新しい耐震審査指針とも関連付ける形で論議が進行中である。

稼動年数が30年を越える原子力発電所の数が次第に増えつつあることから高経年化に関する論議も高まっている。老朽化している原子力発電所は運転を停止し廃炉にすべきという主張に対して、もともと30年という運転期間は十分大きな余裕をもって設定されていたし劣化した

機器は新品に交換しているのだから、状態を監視しつつ運転を継続して支障は無いとする主張がなされている。

行政による検査制度の見直し⁽⁸⁾も進んでいる。どの原子力発電所に対しても同様の定期検査を要求する従来型の規制のあり方を見直して、それぞれの原子力発電所ごとに運転実績、品質管理の状態、などを勘案して検査の頻度や詳細度を定める方式が導入されようとしている。このような方式が定期検査間隔の延長などを通じ経済性の追求を図るため安全性を軽視した方式であるとの批判がある一方で、順調に稼動している機器を一定期間ごとにわざわざ停止して分解検査を行うような方式はそろそろ修正されるべきと言うのが推進側の主張になっている。

以下では、このような問題の広がりや多面性は踏まえつつも基本的には異常時安全問題を主題として考察を進める方針を採った。立地地域住民の方々との対話において表明される意見や疑問の大きな割合が事故時についての不安に関係していること、耐震問題や高経年化問題についての考え方も、普通の原子力発電所の事故時安全性をどう評価するかに強く依存することからこのような方針を採用している。

3.2 安全・安心問題の全体構造

安全問題に関する対象領域を上記のように定めたとして、さらに安心問題の枠組みを定義する必要がある。技術者にとって安全問題は直接取り組みの対象になるが、安心問題はどうか考えて取り組めばよいのかわかりかねるのが現実であろう。「事故など起こさず安全実績を積み重ねることが、技術者、事業者への信頼が形成されることにつながり、それが安心につながる。」という認識が比較的広い範囲で聞かれる。筆者もこの考え方には大筋で賛同する。しかし同時に、これだけではいささか視野狭窄であると考え。現代は、技術が新しい価値をもたらすものとして歓迎されていた時代ではない。技術に関する深刻な懸念や不安^{(7),(9)}が広くいきわたっている時代である。

立地地域の住民の方々や原子力発電所について感じている不安や懸念、期待と失望感など複雑な想いを、筆者らは現地を訪問し繰り返し対話を実施するという活動^{(1),(2)}を通じて明らかにしてきた。この知見を踏まえて原子力発電所を受け入れその近郊に生活する住民が、原子力発電所に対して感じている意識の全体構造を模式的に図5に示した。

まず原子力発電所の安全そのものについて、懸念の内容を整理し体系化してみる。

安全は技術的要因が大きく影響するが、それだけで確保されているわけではないという認識は、多くの住民が共有している。それに加えて、事業者である電力会社が、経営方針として本当に安全を最重視しているのか、結局は合理化の掛け声の下で安全上必要な保守業務の簡素化を進めているのではないか、などが懸念されている。若

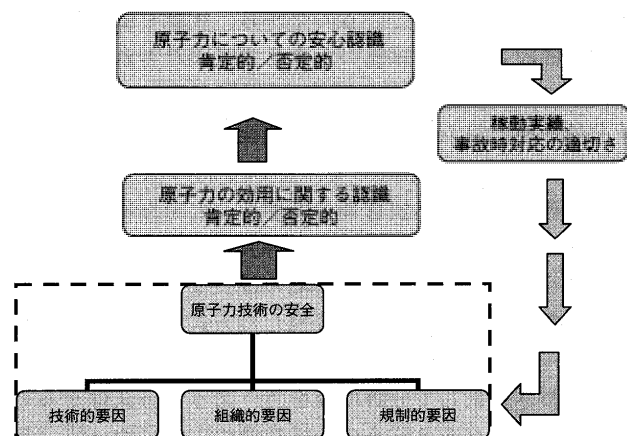


図5 原子力安全・安心問題の全体構造

手技術者の育成がなおざりにされているのではないかと、いわゆる下請け企業の管理を適正に行っているのか、などの懸念も表明されている。この種の懸念の対象領域を、組織的要因と名づけている。

また安全の最終責任を担う規制行政についての不安も少なくない。規制行政担当者の技術的能力はどの程度のものなのか、現場での隠蔽工作を本当に見抜けるのか、などの意見が聞かれている。また本気で原子力安全に責任を持っているならもっと地域にも説明して欲しい、といったコミュニケーション活動への不満感も表明されている。このような懸念や不安をまとめて規制的要因と呼ぶ。

図5の下半分、点線で囲ったブロックは、原子力発電所の安全が、技術的要因、組織的要因、規制的要因の総合的影響を受けて決定されることを示している。この安全性認識（肯定的または否定的）から直ちに安心についての認識（肯定的または否定的）が形成されるわけではない。その認識は、原子力発電の効用をどのように捉えるかという見方に強く影響される。人間は特定の事物についてその効用を高く評価している場合には、その事物に関わるリスクを受容することがリスク認知心理学の分野でよく知られている^{(10),(11)}。

筆者らの対話経験の中でも同様の傾向が明確に観測されている。原子力は問題があるにしてもおおむね安全でありリスクはそれほど大きくないと考える市民は、原子力発電の効用については、エネルギーセキュリティ、エネルギー需給逼迫時代の価格安定化効果、CO₂削減効果などを高く評価している。一方、原子力発電はリスクが大きいという意見を持ち、脱原子力を主張する市民は、原子力発電の効用も、それほど大きくないと評価する傾向がある。この傾向は、心理学の分野では「認知的不協和（または不整合）の回避」⁽¹²⁾と名づけられている。人間はある事物の効用が大きい（望ましい）という考えを持っているときに、リスクが大きい（望ましくない）という考えが同時に認識されにくく、効用、リスクどちらかの評価を修正する傾向を持つというのがこの現象の心

理的説明である。

上記の認知不協和回避傾向を踏まえて本稿では、図5の最上部に位置する安心に関する認識は、下部ブロックの安全に関する認識が、原子力の効用に関する認識（肯定的／否定的）によって修正がかけられた形で形成されるという意識構造を提示している。さらにこうして形成された安心に関する認識は、稼働実績や事故報道などの情報に接した場合、世論としても社会的雰囲気としても、規制当局や事業者に影響を与える。図5右側の影響関係はこのことを模式化している。

原子力発電のリスクと効用についてここまでは、国レベルの観点から議論してきた。しかし実際にはこれらの問題をもっと地元社会との関係において論じることが必要である。原子力発電のリスクは国全体というよりもむしろ立地地域に関わるものである。であれば、リスクに関しては今まで以上に、地域の固有特性を意識した慎重な評価と懇切な説明がなされるべきであろう。また効用に関しても、地域レベルの効用がもっと中心的に検討されねばならない。筆者らが立地地域での対話活動で聞き取ることのできた発話からは、このような外部からの働きかけはまだ不足している印象がぬぐえなかった。

原子力安全の現状について、INES評価との関連で論じたように、過去の実績として事故レベルの事象は日本では起こっていないことから、社会的に受容できる程度の安全性は確保されているという見方がなされることも多い。しかし対話の中で『これまで事故が無かったことは過去のデータに過ぎない。これから先も安全だと思い安心することは出来ない。』という指摘がなされた。この指摘は安全は不断の努力によってのみ維持されるものであり、手抜きや気の緩み、管理の不適切などがあればただちに損なわれてしまうという安全維持の本質を適確に捉えた懸念の表明である。この懸念の払拭につながるための諸要因と関係する論点を以下に概説する。

4. 安心の形成に関わる諸要因と論点

安心に影響を与える要因として、組織的要因、規制的要因、効用の認識などが見出されていることは前述の通りである。またヒューマンファクタやリスクコミュニケーションなどの要因も密接な関係を有している。これらの要因については次章以下でそれぞれ解説がなされるが、本節ではそれらへの導入の意味も兼ねて現在話題になっている論点を簡潔に紹介する。

4.1 組織管理

前節で触れた組織的要因に関連して、事業者組織が意図的な情報隠蔽やデータ改ざんなどの不適切行為を依然として行っているのではないかとという危惧の声に接することが少なくない。2002年8月に報道された東京電力の情報隠蔽問題があり、さらに2007年3月に電力各社が経済産業大臣宛に提出した報告書の中にも不適切行為に相

当する事例が複数見出されたことからこのような懸念を感じる市民は少なくない。実際に多くの事故が組織要因が強く影響する形で生じてきたことは事実である⁽¹³⁾ゆえ、市民の懸念は正当なものである。しかし、不適切事象に関する報告書内容を精査してみると、報告されている不適切行為の大部分は2002年8月以前の事例であり、それ以後は著しく減少していることが、原子力学会倫理委員会の調査⁽¹⁴⁾でも確認されている。この事実にも注目するべきであろう。

やはり東電問題をきっかけとして電力会社の意識は相当大きく変わったと見る事が出来る。公益に関わる通報をした人間に不利益を与えることを禁止した公益通報者保護法も2006年4月から施行されている。情報隠蔽をすることが結局は組織にとって大きなマイナスになるという認識も急速に広がりつつある。この意味で組織のあり方は急速に改善されていると筆者は考えている。

4.2 規制行政

規制のあり方に関して、対話の場においては行政がもっと積極的に原子力安全に取り組んで欲しいという声を聞くことが少なくない。規制がまだ甘いから不祥事や事故が起こるのだという類の発言も多い。これらは規制行政の実態を知った上での発言と言うよりも、不祥事やトラブル報道が続出する原子力発電所の現状に対する不満が、規制当局の取り組み強化を希望する声の形で表明されている可能性が大きい。安全規制に手抜きがあってはならないことは当然である。しかし一方で規制の内容は2003年以降相当に拡大強化されていることも現実である。仮に規制の要求するところが必要十分なレベルより過大であるとすれば、現場は規制への対応負担、とりわけ報告書類の作成などの書類作業が増大し、現場での実務に当てられる時間が減少すれば安全の維持に負の影響がある可能性も無視できない。

規制の適正レベルは、一義的に決まるものではなく、原子力発電所の安全運転と品質管理の実績を踏まえて、総合的に定められるべきものである。同じようなトラブルを繰り返し発生させて再発防止への努力が不足と判断される、安全意識の劣化が危惧される、などの症候が認められる事業所に対しては、より厳しい規制要求がなされるべきであるが、逆に安全管理状態が良好と判定される事業所に対しては大きな自由度が認められることが合理的である。現在導入が進みつつある新しい検査制度⁽⁸⁾はそのような柔軟な運用を可能にする枠組みを有している。この制度が効果的に運用され、市民の信頼を受けるように機能することを期待したい。

4.3 ヒューマンファクタ

ヒューマンファクタに関する認識は急速に市民の中に広がりつつある。そのこと自体は望ましい展開である。ただ実際によく聞かれる発話では、『機械の故障は

保守活動で回避できるかもしれない。しかし人間はいつか必ずエラーを犯す。エラーゼロは実現できない以上、ヒューマンエラー問題は安全性を損なう大きな要因として残り続ける。(だから原子力は安心できない)』というタイプの意見を多く聞く。この見解は、エラーゼロは実現できないという指摘の意味を短絡的に事故の発生に結び付けており、現実を反映していない。

エラーの数を厳密にゼロにすることは無理である。しかし、機器、操作具、情報提示方法、訓練のあり方などを改善することによって大幅に削減することは十分可能である。エラーゼロにできないということの意味は、このような改善努力をしてもなお小さい確率で人間はエラーをしてしまうことがあるという意味であり、その確率は格段に小さくできることを無視してはならない。

また仮にエラーが起こっても、それがただちに安全の喪失を意味するのではない。深層防護の思想に基づき設計されている原子力発電所は、エラーが事故に発展しないように初期段階で押さえ込むことができる。ヒューマンエラーはむしろ望ましくはない。しかしそれが直ちに事故の発生を意味しないことも事実として理解されるべきであろう。

4.4 原子力の効用

この要因に関しては、近年、原子力ルネッサンスという表現がメディアでもしばしば用いられていることに象徴されるように、肯定的な評価が強調される状況が生まれている。正の効用としては前述したエネルギーセキュリティ、エネルギー需給逼迫時代の価格安定化効果、CO₂削減効果などが主要な要因であるが、加えて稼働率が向上した場合の発電コスト低廉化も大きな意味を持つ。このためスリーマイル島原子力発電所事故以降、新規原子力発電所の建設が中断したままであった米国が、新設を進める方向に方針転換したことが世界的にも大きいインパクトとなっている。

しかしこれらの効用とは別に、核拡散問題、核テロリズム問題など負の効用とも呼ぶべき課題が現実性を増しているという見方もある。これらは日常的な意味での原子力発電所安全問題とは異質な面を有するが、重要性の高い論点である。技術的手段で兵器に転用困難なプルトニウム生成技法を開発するなどの現在進行中である試みに期待したい。

4.5 リスクコミュニケーション

ここまで述べてきた要因に関しては、市民と専門家の認識を共有化することが重要な課題である。このためリスクコミュニケーションの重要性が近年各方面で指摘されている。この指摘が現実の社会の中で実効性を持つためには、専門家集団が今以上にリスクコミュニケーションの実践に踏み込むことが必要である。ただしその際には、語り手に対する信頼の存在がきわめて重要な役割を

持つ^{(15),(16)}。原子力発電所の安全や事業者の誠実さに不安を持つ市民の多くは、基本的には専門家に対する信頼も低いレベルにある。それゆえ、リスクコミュニケーション実践に際しては、信頼が十分ではない状況が出发点であることを専門家ははっきり認識して臨む必要がある。具体的な対応策が確立しているわけではないが、なるべく複数回の対話会合を実施する、他分野の専門家と帯同しながら原子力問題を説明する、できるだけ聞き手の真意を汲み取るように仲介者（ファシリテーター）の支援を得る、市民の中で主導的な立場にある参加者の信頼をまず獲得する、などいくつかの方策が有効であることは経験的に知られている。筆者らの実践^{(1),(2)}ではこれらすべての方策を採用することで、信頼の獲得に努めてきた。

このような方策を取り入れながらコミュニケーションを進める方式では主催者、専門家の負担は大きい。しかしこの負担はこれまでのコミュニケーション不足を補うための当然の労力と考えてとりくむことが、今強く求められていることを専門家は自覚すべきと考える。

5. おわりに

本稿では、原子力の受容・廃絶の議論は別問題として、現に稼働している原子力発電所を念頭に置く立場から安全・安心の問題を論じてきた。そして、問題のマクロ的構造を図5のように体系化して考察を進めてきた。しかし実際には、原子力の受容・廃絶に関する市民の意識が、個別論点の認識、そして最終的に安全意識に大きく影響してしまうことも事実である。意見の相克が鮮明である原子力の安全・安心問題を、主観性を排して論じることは容易ではないが、本稿ではそのための基礎的情報を提示するよう努力したつもりである。

困難な課題ではあるが、「今ここにあるもの」を見据えてその状態での安全・安心について熟慮すること^{(17),(18)}が、民主主義社会の市民にとってまずは必要な営為であろう。そしてその熟慮を支援するための情報を率直・真摯に提示することが専門家の果たすべき役割である。その際には市民が専門家から一方的に教示を受けるのではなく、双方が互いを尊重し学ぶことが重要な課題である。このような相互交流を通じて初めて、互いの信頼が向上

し、実質的なコミュニケーションと理解が進展することが、迂遠に見えても安全・安心への道筋であろう。

参考文献

- (1) 八木絵香, 反復型対話フォーラムに基づくリスク認知共進化モデルと日本版公共空間の提案, 東北大学博士論文, (2005)
- (2) 八木絵香, 高橋信, 北村正晴, 「対話フォーラム」実践による原子力リスク認知構造の解明, 日本原子力学会和文論文誌, 6 (2007), p.126-140
- (3) 八木絵香, 北村正晴, 原子力問題に関する新しい対話方式の可能性, 科学技術コミュニケーション, 3 (2008), p.16-29
- (4) 「原子力」図面集, CD-ROM, (2008), (財)原子力文化振興財団
- (5) 軽水炉発電所のあらまし, (1992), p.148, (財)原子力安全研究協会
- (6) 経済産業省, 資源エネルギー庁 (編), 原子力2008, (2008), p.106, (財)原子力文化振興財団
- (7) Perrow, C., "Normal Accident", Princeton University Press (first published by Basic Books (1984))
- (8) (独) 原子力安全基盤機構, 特集「原子力発電所における新検査制度」, All for the Safety, Winter2007, 11 (2007), p.4-7
- (9) Beck, U. 著, 東 廉, 伊東美登里 訳, 危険社会—新しい近代への道, (1986), 法政大学出版
- (10) Slovic, P., Perception of Risk, Science, 236, 4799 (1987), p.280-285
- (11) 岡本浩一, リスク心理学入門—ヒューマンエラーとリスクイメージ, (1992), サイエンス社
- (12) 市川伸一 考えることの科学, (1997), 中公新書
- (13) Reason, J. 著, 塩見 弘監訳, 組織事故, (1999), 日科技連
- (14) 原子力学会倫理委員会ホームページ
<http://www.aesj-ethics.org/document/pdf/iken/iken20070927.pdf>
- (15) Slovic, P., Perceived Risk, Trust, and Democracy, Risk Analysis, 13, 9 (1993), p.675-682
- (16) 吉川肇子, リスクとつきあう, (2000), 有斐閣選書
- (17) 小林傳司 (編), 公共のための科学技術, (2002), 玉川大学出版部
- (18) 藤垣裕子 (編), 科学技術社会論の技法, (2005), 東京大学出版会

特集：原子力発電所における安全・安心

最近の原子力発電所に対する安全規制 — 人，組織そして安全文化への施策 —

牧野 真臣^{*1}
MAKINO Maomi

キーワード：ヒューマン・システム・インターフェイス，人的要因，組織要因，根本原因分析，人的過誤，組織事故，安全文化，安全規制

1. はじめに

我が国の原子力発電所に対する安全規制においてヒューマンファクター（以下「HF」と記す）が、大きく取り上げられるようになったのは、1979年3月に発生した米国スリー・マイル・アイランド原子力発電所2号機での事故（TMI事故）における教訓への対応に始まったといえる。この事故を契機に主として人的要因，すなわち個人を中心とした課題として人的過誤の防止のための制度基盤の整備，研究，技術開発が産学官で進められた。1986年には当時ソ連におけるチェルノブイリ原子力発電所で事故が発生し，事故の原因は安全文化の欠如にあったとして，安全文化の醸成が国際的に大きな課題となった。更にわが国では，1990年代後半以降もんじゅナトリウム漏洩事故（1995年），アスファルト固化処理施設の火災爆発事故（1997年），JCOウラン加工工場臨界事故（1999年），東京電力自主点検記録不正問題発覚（2002年），美浜3号機二次配管破損事故（2004年），志賀1号機臨界事故発覚（2007年）等，社会に大きな不安を与える事故・不祥事が発生し，安全文化の醸成とともに組織要因の根本原因分析によるマネジメントシステムに踏み込んだ不適合是正の徹底が求められた。図1には原子力安全規制の背景と規制の流れをまとめた。本誌では，こうした背景を具体的に示し，原子力の安全規制の視点から最近の原子力発電所に対する安全規制，特に人，組織そして安全文化への施策について解説する。

2. 人的要因を中心とした課題への対応

2.1 マン・マシン・インターフェイスの改善

TMI事故は，2次給水系の故障に端を発し，種々の機器の故障，運転員の誤操作が重なって，放射性物質が外部環境に放出されたという事故で，この事故の教訓を

安全確保対策に反映させることに我が国におけるHFの導入が，始まったといえる。当時原子力安全委員会は，TMI事故が機器設備上の問題に加え，機械と人間との係り合いの中で起こる各種の問題に起因したものであるとした。そして，TMI事故の教訓をわが国の原子力安全確保対策に反映させるべき事項として52項目を指摘した⁽¹⁾。特にHFに関係する内容として，安全基準関係で，緊急時中央指令所，制御室，ヒューマンクレジット及び単一故障，安全設計関係で，運転員の誤操作防止対策，制御室のレイアウト，運転管理関係で，手動弁の管理方式，運転員の長期養成計画，運転員の誤操作防止対策，報告すべき異常事象，安全審査関係で，安全上重要な系統・機器の自動作動，技術的能力及び運転管理体制，等が指摘された。この教訓52項目を受けて，国は原子力の安全確保対策として，ヒューマンエラー（以下「人的過誤；要求された基準から逸脱した設計，製作，施工，運転，保守・管理等に関する人の行為」という⁽²⁾。）を防止する制度基盤の整備を進めた。一方，原子力産業界はマン・マシン・インターフェイス（MMI）に関する研究，技術開発を加速した。また，運転管理関係に，報告すべき異常事象が指摘されており，人的過誤の防止には，異常事象の原因となった人的要因を分析する手法の開発と分析の評価，データの蓄積と水平展開による予防保全活動が国及び産業界において，進められた。

ヒューマンファクター（HF）という用語は，目的に応じ解釈⁽³⁾されるが，我々の場合「原子力施設の安全を確保するための規制におけるヒューマンファクターとは，原子力施設の設計，建設，運転，保安，防災，輸送，廃止措置，廃棄物処分の各段階で，人間，技術，組織を含むシステムの安全性，信頼性を的確に確保するために，人間の特性と能力を生かし，人間の限界を適切に補い補完する知見を総合的に応用し，科学的で合理的な規制を実現するための技術の体系である」と考えている。なお，ヒューマンファクターは，人的過誤の要因の意味で使うため，これを区別して「人的要因」⁽²⁾と呼ぶ。

教訓52項目の指摘を受けて，国が実施した制度基盤の

原稿受付 2008年9月12日

*1 独立行政法人 原子力安全基盤機構 規格基準部
ヒューマンファクター評価グループ
〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-17-1
TOKYU REIT 虎ノ門ビル

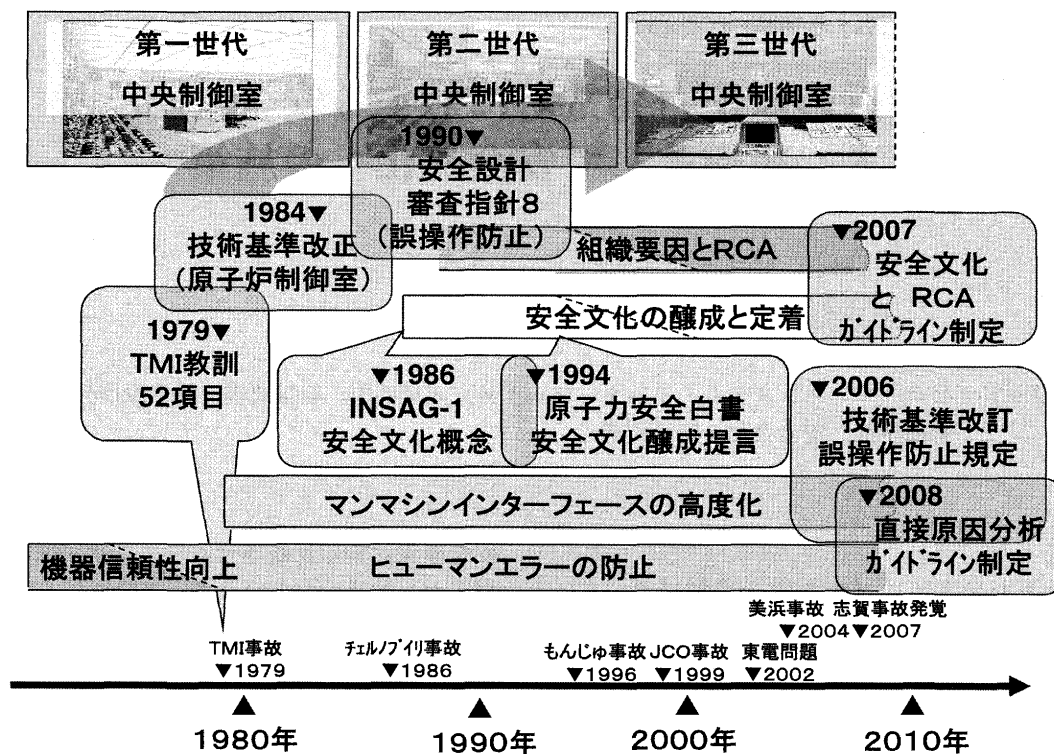


図1 人、組織、安全文化に関する安全規制の流れ

整備の一環として、1984年に発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（省令62号）を改定し、原子炉制御室の要件に「適切に運転操作することができるように施設しなければならない」ことを規定した。また、1990年に安全設計審査指針8「運転員操作に対する設計上の考慮」において、原子炉施設は、運転員の誤操作を防止するための適切な措置を講じた設計であることを定めた。

一方、原子力産業界は、原子力発電所を中央から集中監視制御するMMIの要となる中央制御室の改善を積極的に推進した。1985年にTMIの教訓を反映した第二世代中央制御室が運用に入った⁽⁴⁾。更に1996年に人間中心設計を徹底し誤判断・誤操作防止機能を強化し、アメニティを配慮した第三世代中央制御室が運用に入った。この制御室は、運転直メンバー間でプラント情報を共有し相互のコミュニケーションを良くするため採用した大型表示盤を特長としている⁽⁵⁾。図2に示すようにMMIの不備による人的過誤の発生件数は、中央制御室のMMIが革新するに伴って大幅に減少していることが判る。1981年当時の第一世代中央制御室時代を100とすると近年の第三世代中央制御室では、20以下と1/5以下になっている。このことは、MMIの改良が人的過誤の防止に寄与していることを顕著に示している。

計算機技術のように技術革新が日進月歩のものは、仕様規定による技術基準では、最新技術をその都度反映したものに維持することは難しく、技術基準と最新技術にギャップを生じる。このことは、2002年7月に原子力安全・保安部会原子炉安全小委員会が報告した「原子力発電施設の技術基準の性能規定化と民間規格の活用に向け

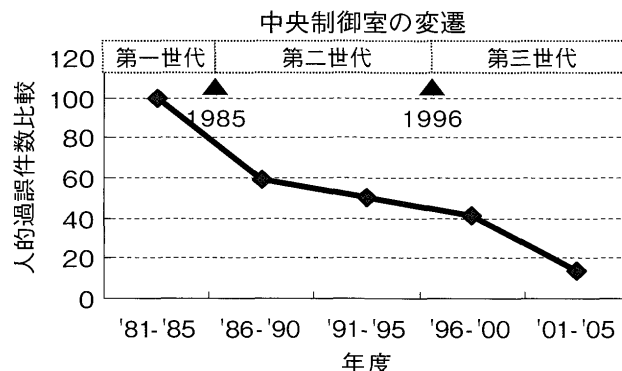


図2 MMIを要因とする法令対象人的過誤件数比較（'81-'85年度件数を100とした比較）

て」で指摘され、技術基準を性能規定化することにより、実現のための仕様に選択の自由を与えることを提言した。これを受け2005年7月に技術基準（省令62号）が改正され、「原子炉制御室は誤操作することなく適切に運転操作することができるように施設しなければならない」と規定した。同年12月には省令の解釈として原子炉制御室における誤操作防止のための設備面への要求事項を定め通知した。誤操作防止の技術基準改正に当っては、国際機関の規格・基準の調査結果、国内の運転経験が精査され反映された⁽⁶⁾。

2.2 人的要因分析結果から見えてくる課題

旧原子力発電技術機構ヒューマンファクターセンターがTMIの教訓を踏まえて開発した分析手法⁽⁷⁾及び蓄積データは、原子力安全基盤機構（JNES、2003年10月設立）のヒューマンファクター評価グループが継承し、規

制の視点から、国内外の人的過誤事象の人的要因を分析・評価している。得られた知見を蓄積し、安全規制の対策に係る評価手法の検討及び開発を行っている⁽⁸⁾。

1981年度から2005年度に、我が国の法令及び通達に基づき国に報告されたトラブル・事故事象（以下、法令対象事象という。なお、1981年に報告の基準が変わったことから分析結果の比較、統計処理には、それ以降の事象を対象としている。）の件数を1プラント当たりで見ると、この25年間で一貫して減少傾向にある。しかし、図3に示すように、法令対象事象に占める人的過誤事象の割合は、1981年度から2004年度は15～40%程度で増減しているが、全体的には増加傾向にある。特に、2005年度は急に増加しており73%を示している。この増加については、一時的なものかどうかは、さらに傾向を見る必要があるが、現時点で次のように考えている。国の審議会等において、課題として人的要因による不適合是正の徹底が指摘されてきた。また、JCO事故の後も自主点検記録不正問題発覚、二次系配管破損事故、臨界事故隠ぺい等、人的要因と組織要因に起因する事故・不祥事が継続し、社会に大きな不安を与えている。この結果、社会において、HFが重要であるとの受け止め方がこれまで以上に高まって来た。こうした背景があいまって、事業者

による事故報告書を見ても、従来に比べてより詳細に調査・分析結果を報告するように意識が変わってきており、その結果、最近、分析に係る情報量が増えており、潜在した人的要因をよりの確に抽出できるようになって来たことが背景にあると捉えている。なお、航空輸送や他産業における発生割合が概ね70%～80%であるといった報告^{(9),(10)}から考えると、ここで示した人的過誤事象の割合増加傾向は、原子力においてこれまで以上に透明性が上がり、未然防止への教訓を共有できる環境が整ってきた、むしろ良好事例ではないかと考えている。

JNESが分析に用いる人的要因には、従事者の作業遂行能力等個人的な要因からなる「個人特性要因」、作業負荷、並行・突発作業等作業固有の要因からなる「作業特性要因」、MMI、作業場所等物理的な環境要因からなる「作業環境特性要因」、チーム構成、指示・監督、職場モラル等従事者をとりまく職場環境要因からなる「職場環境特性要因」、そして教育プログラム、規定・手順書、作業計画等作業に係る業務管理要因からなる「管理特性要因」の五つの大分類項目で構成する体系的な分類をリファレンスリストとして用いている^{(7),(11)}。

1981年から2005年における法令対象事象のうちの人的過誤事象の人的要因分析結果の内訳を見ると、「手順、計画、工程等（管理特性要因）」が全体の23%で最も支配的で、「不注意、思い込み等（個人特性要因）」が17%、「知識、経験不足等（同）」が14%となっておりこれら3要素で全体の54%を占めている。続いて「表示、構造、工具等」MMIに関する作業環境特性要因、「監督指示不適切等」職場環境特性要因となっている。

また、作業内容別に人的過誤の発生割合を見ると保修関係43%、建設関係22%、運転関係17%、管理関係15%となっており、これまでのところ保修関係作業においてもっとも多く人的過誤事例が見られる。

一方、図4に示すように、五つの人的要因特性を全人

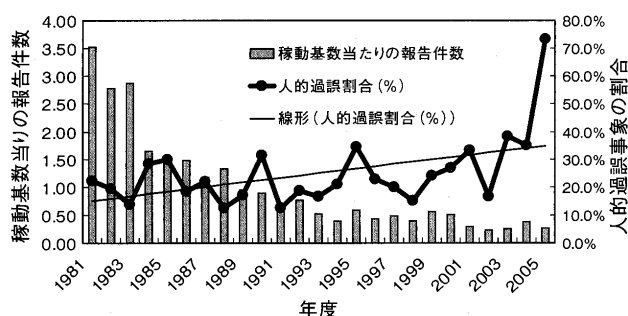


図3 法令対象事象報告件数と人的過誤発生割合の推移

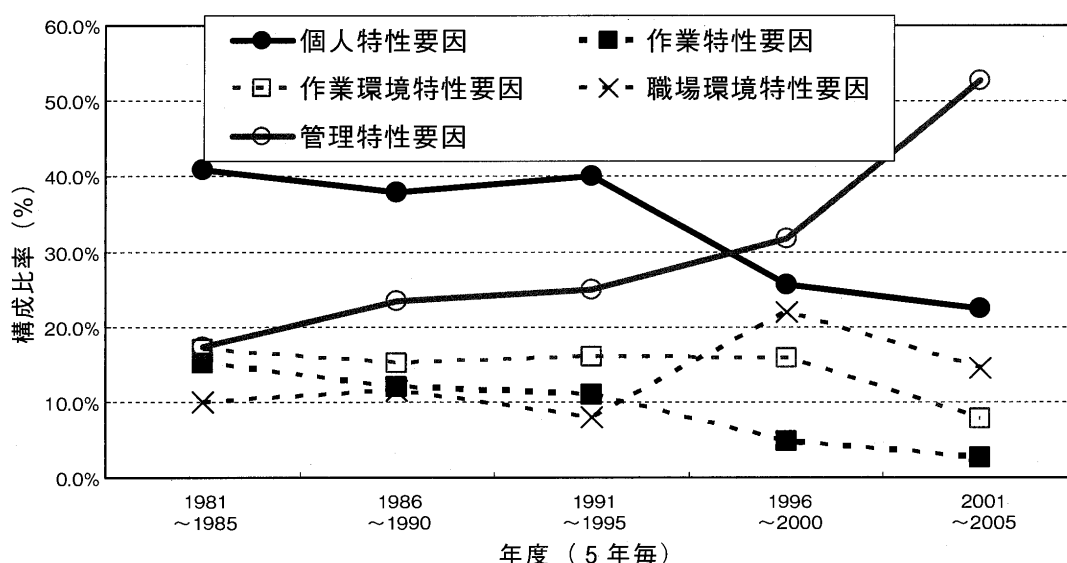


図4 人的要因構成比率の推移（法令対象事象）

的要因に占める構成比率の変化で見ると、従事者の個人的な要因である個人特性要因よりも、業務管理要因である管理特性要因の比率が近年増加しており、2000年度以降その増加傾向が顕著である。特に、一般教育、専門教育あるいは技能訓練といった教育・訓練プログラムの不適切、管理規定、手順書・図面あるいは作業計画の不適切といった管理特性要因の顕在化を指摘することができ、背後に組織的な要因が潜在していることを示唆している。これは、人的要因の分析だけに止まらず、組織要因である根本的な要因を分析し、マネジメントシステムの本質的な改善に基く不適合の是正を徹底することが事業者にも求められていることを裏付けている。

2.3 事故防止バリアを掻い潜って起る組織事故

図3で示したように、法令対象事象の件数は、この約25年間で一貫して減少傾向にあり、2001年度以降は、多少の増減はあるものの1プラント当たり年に約0.3件と低い発生率となっている。しかし、1990年代後半以降、冒頭に示したように、ひとたび発生すると社会に大きな不安を与える事故・不祥事が継続して発生している。

原子力安全・保安院（NISA）の調査報告書⁽¹²⁾によると、2007年に発覚した1999年発生の原子炉臨界事故では、プラント停止中の原子炉停止機能強化工事機能確認試験（以下「試験」という）において、試験担当である現場の電気係員とメーカ作業員が、試験対象である制御棒1本を除く88本全ての制御棒駆動機構を隔離するため元弁の全閉操作を、現場の4名が手分けして平行作業を開始してしまった。この操作は、試験要領書に従わずに開始され、制御棒駆動系駆動水流量をゼロにしないで実施したため、元弁の全閉操作に伴って駆動水の流路が順次遮断され、冷却水ヘッダ圧力が上昇し、制御棒駆動機構の引抜け側に圧力が加わり、最終的に3本の制御棒が引抜け、原子炉が臨界状態となった。次いで原子炉自動停止信号が発生したが、作業のため制御棒の挿入側の元弁が閉じられていたこと、試験実施のために制御棒の緊急挿入に必要なアキュムレータが充てんされていない状態だったため、緊急挿入はされなかった。事故の主な要因は次の通りである。

- 1) チーム間の連絡不十分；電気係員は、作業票に試験手順書を添付しておらず、また、運転当直との間で事前に試験内容の確認を行っておらず、運転員は電気係員が現場で行う操作内容を把握していなかった。
- 2) 試験の指揮・管理が不適切；運転当直長は、制御棒の隔離弁操作に当って、初めて操作する電気係員を指揮していなかった。また、中央制御室の電気係員は、試験要領書通り試験を実施させるべきであったが、現場の係員とメーカの作業員が手順を守らず、不適切な手順で隔離作業を開始してしまった。
- 3) 専門知識不足と手順書不適切；電気係員は臨界防止の検討不十分で、制御棒1本毎に隔離することの

重要性を認識しておらず、また、隔離に伴う差圧上昇を防止する適切な運転に予め切替えておくことが手順書に記載されていなかった。

- 4) 警報除外の復旧忘れと警報リセット忘れ；試験直前実施の単体スクラム試験で警報除外の復旧忘れ、及び警報のリセット忘れがあり必要警報が発信しなかった。このように、事故防止のための人間系による多重の安全防護壁（バリア）において異常を防止できず、多重のバリアが通過されて発生した典型的な組織事故と言える⁽³⁾。なお、事故当時、当直長からの連絡で、所長はじめ関係者が集合し、協議の結果外部への報告はしないと意思決定し、本店への報告も行わなかった。このため、臨界事故の発生は、2007年11月の経済産業大臣指示により行われた「発電設備総点検」によって初めて明らかとなった。約2ヶ月後に予定されていた2号機着工がこの事故で延期されることを懸念したことが隠ぺいの大きな要因と指摘されている。

この事故を含め、最近の事故・トラブル・不祥事の報告書では問題点として、組織の閉鎖性、情報伝達の不足、経験・知見の形骸化、技術伝承の問題、基本的認識の風化、法令遵守や記録の保全の問題、外部への情報提供に対する認識不足、全社的な品質保証機能の麻痺、安全文化の綻びといった組織要因が指摘されている。

3. 人、組織、そして安全文化の3つのガイドライン

総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会「検査の在り方に関する検討会」の審議を踏まえて2006年9月にまとめられたNISAの報告書「原子力発電施設に対する検査制度の改善について」（以下「検査制度改善報告書」という）⁽¹³⁾の中で提案された検査制度改善の目的の一つとして、事業者による不適合是正の徹底が示された。この目的を達成するための具体策として三つのガイドラインの整備が位置づけられた。NISA及びJNESは、これに対応して三つのガイドラインを策定し、原子力安全・保安部会 原子炉安全小委員会 安全管理技術評価WGにおいて承認を得た。NISAは、今後、保安検査等を行うに当たっては、これらのガイドラインを踏まえて行うことを事業者にもNISA文書で通知した。

- 1) 「人的過誤の直接要因に係る不適合等を是正するための事業者の自律的取組を規制当局が評価するガイドライン」（NISA-166c-08-03, 2008年3月18日）（以降「直接原因分析ガイドライン」という）
- 2) 「事業者の根本原因分析実施内容を規制当局が評価するガイドライン」（NISA-166c-07-10, 2007年12月14日）（以降「根本原因分析ガイドライン」という）
- 3) 「規制当局が事業者の安全文化・組織風土の劣化防止に係る取組を評価するガイドライン」（NISA-166c-07-11, 2007年12月14日）（以降「安全文化ガイドライン」という）

図5はこれらのガイドラインの位置づけを示す。

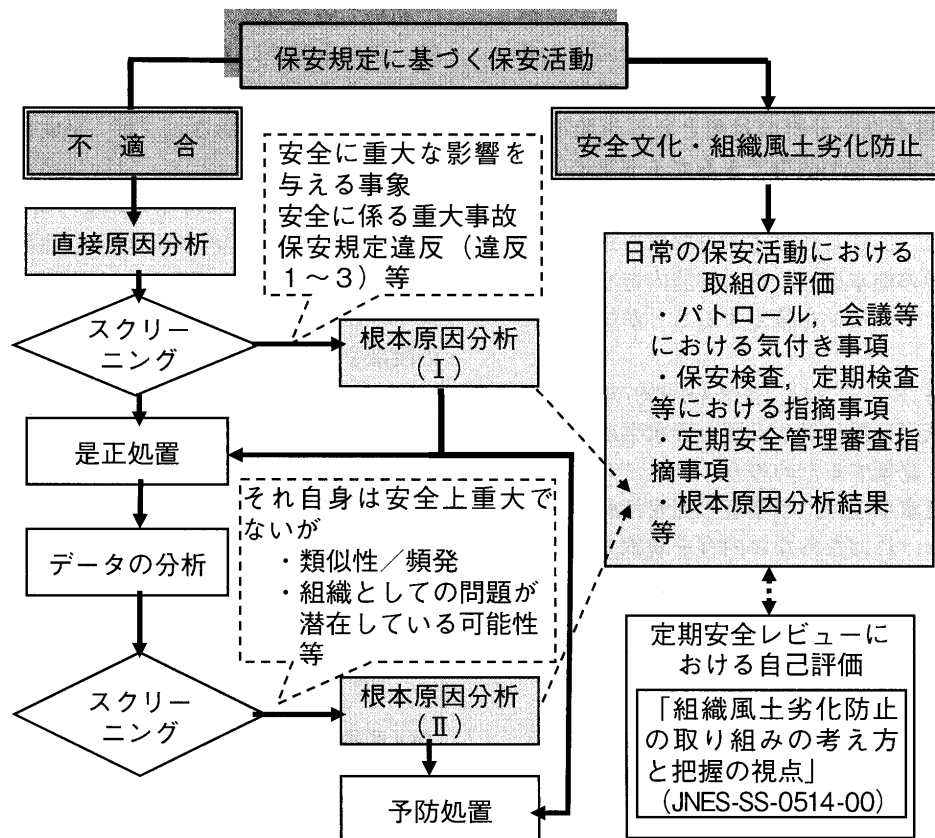


図5 三つのガイドラインの位置づけ

3.1 直接原因分析ガイドライン

人的過誤等の事故・トラブルの直接要因は、これを解消しない限り通常運転に復帰できないことから、事業者による要因の評価・改善に係る取組みは、これまでも一定程度なされてきている。このことにより、図3で示したように、法令対象事象の件数を1プラント当たりで見ると、この25年間で一貫して減少傾向にあるが、法令対象事象に占める人的過誤事象の割合は、全体的に増加傾向にある。このことは、トラブル・事故発生時に技術的な要因に起因する不適合の徹底した是正に払われたこれまでの取組み努力に比べ、人的要因に起因する不適合の是正の取組み努力が、十分でないことを示唆している。

この取組みのうち従業員に対する教育などは、事業者ごとに管理体制が異なることなどから、それぞれ独自に行われているが、国としては、人的過誤等の直接要因に係る不適合を是正するための事業者の自律的取組みを評価し、更にこれを促すための視点をガイドラインとして明確化することが事業者による不適合是正の徹底に必要であると提言された⁽¹³⁾。この提言を受けて直接原因分析ガイドラインは策定された。

本ガイドラインは、「原子力発電所における安全のための品質保証規程：JEAC4111-2003」に規定されている「不適合管理」、「データの分析」、及び「改善」に係る活動に関して、人的過誤に該当する不適合の是正を徹底し、事業者による予防処置を促進していく観点から、人的過

誤の直接要因に係る不適合等に対する事業者の自律的取組を評価し、更にこれを促すための視点を取りまとめたガイドラインである。

なお、本ガイドラインの適用に当たって十分な理解が必要である点を冒頭に言及している。「人的過誤を引き起こした人的要因を分析する目的は、個人に過誤の責任を負わせることではなく、人的過誤が起きにくい業務運営の仕組みを構築し、またたとえ過誤が起きても安全上重要な問題にならないようにすることにある。分析により抽出された人的要因を、この多重防護の考え方に基づいて適切に考慮し、事象の再発を防止するとともに安全上重要な問題に拡大しない体制の確立に資することこそが重要である。」なお、ガイドラインには、人的要因確認のためのリファレンスリストとして、JNESが分析に使用している人的要因の分類体系を示している。

3.2 根本原因分析ガイドライン

事故・トラブルの誘因となる組織要因に対しては、人的過誤等の直接要因とは異なり、その性質上、事業者における不適合是正のための取組みは十分には行われにくい状況にある。しかし、組織要因による不適合については、根本的な要因の分析を踏まえた是正を行わなければ、事故やトラブルの再発を防ぐことは困難である。また、根本的な要因分析の結果を他に水平展開することにより、同様のトラブルを未然に防止することが可能となる。こ

うした根本原因分析（RCA）を促進する有力な手段が品質保証活動の充実である。このため、事業者による根本原因分析を実効的なものにする観点から、品質保証規格の体系の中で、根本原因分析の対象となる事象の抽出に係る考え方など事業者が活用できるガイドラインを整備していくことが必要である。こうした観点から、国は、学協会等に対し、こうしたガイドの整備を求めるとともに、国が事業者の根本原因分析の実施内容を確認・評価するためのガイドラインを策定することが提言された⁽¹³⁾。

根本原因分析ガイドラインは、NISAが2007年1月25日に定めた「根本原因分析に対する国の要求事項」を保安検査官等が確認、評価するためのガイドラインとして策定された。この要求事項は、事業者の保安活動において、最低限遵守しなければならない内容を規制上明確にするために規制当局が定めたもので、次の通りである。

- 1) 根本原因分析の実施にあたっては、分析主体の中立性、分析結果の客観性及び分析方法の論理性が確保されることを確実にすること。
- 2) 安全に重大な影響を与える事象については、適切な是正処置及び予防処置を行い、再発防止を確実にするため、その事象ごとに根本原因分析を実施すること。
- 3) 安全に重大な影響を与える事象以外の事象にあっては、是正処置を講じた後、蓄積されている不適合等に関するデータを分析し、起こりうる不適合の発生を防止する予防処置を講ずるため、必要に応じて、根本原因分析を実施すること。
- 4) 是正処置及び予防処置は、根本原因分析結果に対応した適切なものであり、又、具体的な実施計画を明確にし、確実に実施すること。

なお、本ガイドラインの適用において十分に配慮が必要な点を冒頭に言及している。「不適合を引き起こした人の行動には、思い込み、間違った判断、確認不足等の負の要因の他に、労働環境改善、効率改善、コストダウンの追及等の正の効果を期待した行動の行き過ぎによる負の効果（影響）が存在しうることも十分に認識しておくこと。」

なお、ガイドラインには、事業者が実施した分析結果の組織要因を体系的に確認するためのリファレンスリストとして、JNESが根本原因分析に使用している組織要因リスト表（JOFL）⁽¹⁴⁾を示している。

3.3 安全文化ガイドライン

安全文化の概念は、1986年、IAEAの国際原子力安全諮問グループ（INSAG: International Nuclear Safety Advisory Group）が行った報告「チェルノブイリ事故の事故後検討会議の概要報告」⁽¹⁵⁾の中で「チェルノブイリ事故の根本原因は、いわゆる人的要因にあり『安全文化』の欠如にあった」と初めて言及したことに始まる。そして1991年INSAG-4報告書「安全文化」⁽¹⁶⁾におい

て初めて安全文化が定義された。「原子力の安全問題には、その重要性にふさわしい注意が最優先で払われなければならない。安全文化とは、そうした組織や個人の特性と姿勢の総体である。」（訳；平成17年版原子力安全白書）

安全文化は、その劣化兆候を早期に発見し対処できずにいると、組織の安全に対する性能は段階的に低下し、最終的に「崩壊」に至ることが国際的に共通して認識されている。表1に事業者の安全文化が劣化していく5つの段階を示す⁽¹⁷⁾。

表1 安全文化劣化の5つの段階

劣化兆候		説明
第1段階	自信過剰	過去の実績が自己満足を助長する。
第2段階	慢心	軽微な事象が起こり始めるが、重要性の認識不足により改善プログラムが遅れる。
第3段階	否定	より重要な事象も起こるが、内部監査や自己評価による否定的な見解が却下される。
第4段階	危険	過酷な事故に至る潜在性のある事象が起こっても、経営陣が一貫して内外の批判を拒絶し、監視組織もしばしば及び腰になる。
第5段階	崩壊	安全文化の崩壊が容易に認識される。

我が国では、1994年の原子力安全白書において安全文化醸成の提言が行われ、活動が進められた。しかし前述のように1995年以降、組織的な事故、トラブルそして不祥事が後を絶たず、組織における安全文化の綻びが指摘されることとなり、あらためて安全文化の醸成に向けた対応を官・民が加速した⁽¹⁸⁾。

こうした背景をもとに、「検査制度改善の報告書」（2006年）は、「事業者による安全確保の取組みをより一層確実なものとするためには、現場からのボトムアップの取組みと同等以上の重要性をもって、トップ自らが組織全体の安全文化や組織風土の劣化を防止するために取り組むことが求められる。組織全体の安全文化や組織風土の劣化を防止するための取組みについては、高経年化対策の一環として、既に国が事業者の取組みを10年という長期スパンで定期安全レビューにおいて把握しているが⁽¹⁹⁾、⁽²⁰⁾、今後は、事業者の日常的な保安活動においても、このようなトップによる取組みが適切に行われていくことを確保する必要がある。そのため、国として、こうした事業者の取組みを評価するための指針を整備することが必要である」と提言した。

安全文化ガイドラインは、この提言を受けて策定されたもので、事業者の安全文化・組織風土に劣化兆候がないかどうかという視点で、日常の保安活動における事業者の取組、及び必要に応じ協力会社の取組を把握し、劣化兆候が認められる場合はその状況を指摘し、安全文化

醸成に係る改善活動に積極的に取り組むよう事業者に促すことにより, 原子力発電施設の安全確保水準を更に高めていくことを目的としており, 良好な取組についてはこれを奨揚することとしている。

日常の保安活動における安全文化・組織風土の劣化防止に係る取組を評価する視点として14項目の安全文化要素を定めた⁽¹⁴⁾。①トップマネジメントのコミットメント, ②上級管理者の明確な方針と実行, ③誤った意思決定を避ける方策, ④常に問いかける姿勢, ⑤報告する文化, ⑥良好なコミュニケーション, ⑦説明責任・透明性, ⑧コンプライアンス, ⑨学習する組織, ⑩事故・故障等の未然防止に取り組む組織, ⑪自己評価または第三者評価, ⑫作業管理, ⑬変更管理, ⑭態度・意欲。これらの視点を参考に現場の常駐保安検査官による気付き事項, 指摘事項, 根本原因分析結果, 安全文化を間接的に評価する指標, 事業者の自己評価結果等を総合的に判断することが肝要となる。更に, こうして抽出した事業者において取組強化が必要と保安検査官が判断する項目については当該事業者と十分な議論を踏まえた上で, 取組要請事項を事業者に提示すること, 及び奨揚するにふさわしい取組を抽出して所見をまとめることが求められている。

4. まとめ

最近の原子力発電所に対する安全規制の視点から, 特に人, 組織そして安全文化の規制課題とその施策について具体的な事例を示しながら解説した。性能規定として改正された技術基準(省令62号)の原子炉制御室の要件及びその解釈は, 今後, 計画される原子炉制御室制御盤のリプレースあるいは新設プラントにおける誤操作防止の規制要件として審査, 検査される。また, 3つのガイドラインは既に施行されており, 事業者自らによる不適合の未然防止が徹底され, 人的要因及び組織要因による事故・トラブルが減少することを期待する。

引き続き, 保守・運転管理等のソフト面の課題から, 規格基準を体系的に策定し整備を進めているところである。

5. 謝辞

ガイドライン案検討に当っては, JNESに設置の「安全規制における原子力安全文化検討会」(委員長東北大学北村正晴名誉教授)の委員並びにNISA原子力安全技術基盤課, 原子力発電検査課に貴重な助言・情報の提供をいただいたことをここに記して謝意を表する。

参考文献

- (1) 原子力安全委員会, 原子力安全年報, 第3章, (1981)
- (2) 原子力安全・保安院, NISA-166c-07-10, (2007)
- (3) 古田一雄, 高野研一, 原子力学会誌, 44, (2002)
- (4) 増田尚宏, 牧野眞臣, 電気学会誌, 113巻2月号, 1993), p.111
- (5) 岩城克彦, 牧野眞臣, 三宅雅夫, 電気学会論文誌B, 111巻12号, (1991)
- (6) 原子力安全基盤機構, JNES-SS-0515, (2005)
- (7) 原子力発電技術機構, IHF/9801, pp. IV478 - 647, (1998)
- (8) 原子力安全基盤機構, 04基シ報-0001, (2004)
- (9) 経済産業省, 「産業事故調査結果の中間取りまとめ」, (2003)
- (10) Ramos,M., "The Perspective of ICAO", SMS Seminar for Air Transport Industry,Tokyo, (2007)
- (11) 牧野眞臣, 畑孝也, 電気学会原子力研究会, NE-07-8, (2007)
- (12) 原子力安全・保安院, 「北陸電力株式会社志賀原子力発電所1号機における平成11年の臨界事故及びその他の原子炉停止中の想定外の制御棒の引き抜け事象に関する調査報告書」, (2007)
- (13) 原子力安全・保安院, 「原子力発電施設に対する検査制度の改善について」, (2006)
- (14) 原子力安全基盤機構, 07基ヒ報-0003, (2007)
- (15) INSAG-1, IAEA, (1986)
- (16) INSAG-4, IAEA, (1991)
- (17) INSAG-13,IAEA, (2002)
- (18) 牧野眞臣, 高野研一, 保全学, Vol.3, No3, (2004)
- (19) 原子力安全・保安院, 「実用発電用原子炉施設における高経年化対策の充実について」, (2005)
- (20) 原子力安全基盤機構, JNES-SS-0514-00, (2005)

特集：原子力発電所における安全・安心

業界としての安全への取り組みについて

河島 弘明^{*1}

KAWASHIMA Hiroaki

浜田 潤^{*1}

HAMADA Jun

邑田 正司^{*1}

MURATA Masashi

キーワード：安全文化、ピアレビュー、安全文化アセスメント、
Safety Culture, Peer Review, Safety Culture Assessment

1. はじめに

原子力発電所の安全性および信頼性のさらなる向上を目指した原子力産業界の取り組みの一端として、ここでは、日本原子力技術協会（以下、原技協と略す）が取り組んでいる活動について述べる。

まず、原技協設立までの経緯について述べる。1979年のスリーマイル島原子力発電所2号機事故後、同年に米国原子力発電運転協会（INPO）が設立され、翌1980年に、自主保安活動により発電所の安全性と信頼性を向上させるためのピアレビューを始めた。1986年のチェルノブイリ原子力発電所4号機事故後、1989年に世界原子力発電事業者協会（WANO）が設立され、世界規模でのピアレビューを1992年に始めた。また、この事故後、原子力安全文化と言う概念が提唱されるようになった。

さらに、わが国では1999年にJCO事故が発生し同年にニュークリアーセイフティーネットワーク（NSネット）が設立され、ピアレビューを翌2000年から開始するとともに、安全文化の推進と向上活動を始めた。

その後も事故や不祥事が続いたため、より一層の安全性向上による原子力産業の活性化を目指し、2005年に原技協が設立された。これは、NSネットと電力中央研究所にあった原子力情報センターの機能を統合・再編するとともに、民間規格の整備促進などの機能も備えた原子力産業界の総力を結集したものである。最近では、技術基盤・教育訓練についても強化を図っている。

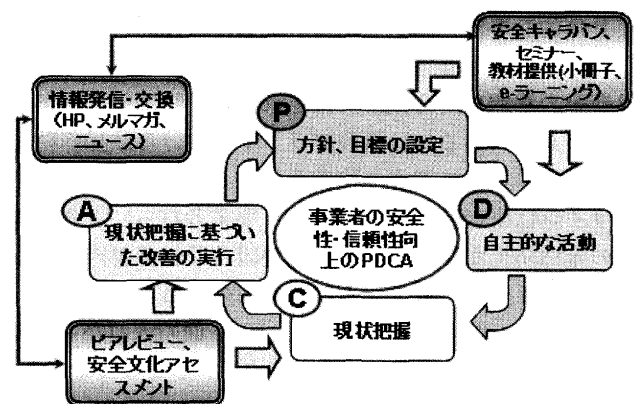
なお、冒頭のべた原子力の安全性と信頼性の向上は、さまざまな活動に支えられている。これらは、研究開発、多重性・多様性・フェイルセーフ・設計余裕・材料強度余裕などの考え方に基づく計画・設計、安全性実証のための研究炉から商用炉に至る開発・実用化ステップ、計画・設計・製造・建設・試験・定期検査の各段階での審査・検査、運用に関する技術開発、教育訓練と人材育成、トラブル経験の活用、危機管理、自主保安、安全文化、これらのすべての基礎となる組織と管理など枚挙にいと

まがない。これらのうちの一端について述べる。

2. 原技協の安全性および信頼性向上活動

原技協には5つの部署があり、その内の一つ「NSネット事業部」では、原技協会員の中の電力関係、プラントメーカー、燃料製造、研究機関などの会員で構成する「NSネット事業部会員（34社：2008年9月現在）」を対象に、安全性および信頼性向上活動を進めている。

原子力に携わる事業者は、安全性および信頼性向上のPDCAを廻す活動をしており、原技協は、それを支援するために、図1の二重枠内に示す活動を進めている。



（二重枠内太字：原技協の活動、P：計画、D：実行、C：評価、A：対策実行）

図1 安全性および信頼性向上のためのPDCA

3. ピアレビュー

3.1 原子力発電所のピアレビュー

3.1.1 ピアレビューの特徴

「ピア（Peer）」とは「同僚」という意味である。ピアレビューの目的は、発電所での業務経験のあるピアの知識と経験を活用し、発電所の現場におけるレビューを行うことにより、発電所の安全性と信頼性を向上させることである。ピアレビューの特徴を表1に示す。

ピアレビューは検査とは異なり、可否を判定するものではない。発電所が気付いていない課題や、すでに気付いている課題に新しい考察を提供することによって、自

原稿受付 2008年9月18日

*1 日本原子力技術協会 NSネット事業部

〒108-0014 東京都港区芝4-2-3 NOF芝ビル7階

表1 発電所のピアレビューの特徴

目的	発電所の安全性および信頼性の向上
期間	2週間
体制	原技協、INPO・WANOおよび会員電力からの専門 家十数名によりチームを構成
分野	運転、保守、技術支援、放射線防護、運転経験、お よび組織と管理体制の6分野が基本 化学、訓練、火災防護および緊急時対応については、 必要に応じて6分野の中で対応する
基本理念	観察された事実の分析と、そこから導き出される原因 と改善方法をレビュー者と発電所員が徹底的に 議論し、双方が完全に納得すること
基準	WANO達成目標と基準
成果	長所および改善提言の抽出 長所：最高水準に至っていると判断される事例 改善提言：最高水準に達するために努力を必要とする 事項

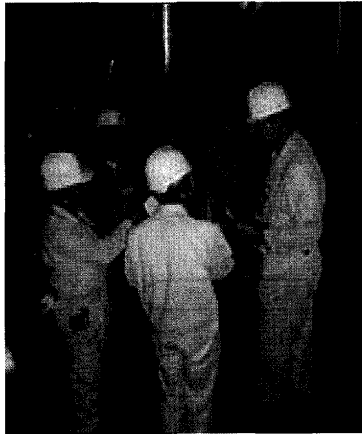


図2 ピアレビューの実施状況

主保安活動を支援するためのものである。

このため、図2の写真に示すように、現場で観察した事実をベースに業界最高水準に照らしてレビューし発電所の運営上の根本的課題を抽出する。さらにその原因と改善のための提案を、発電所とレビューチームが納得行くまで議論して見つけ出す。

図3は、検査や監査のような基準型レビューとピアレビューの違いを模式的に示すものである。ピアレビューでは、各種業務におけるパフォーマンスつまり行動や仕事ぶりが、要求事項を満足しているかどうかについての不適合事項を見つけるものではない。業界の最高水準

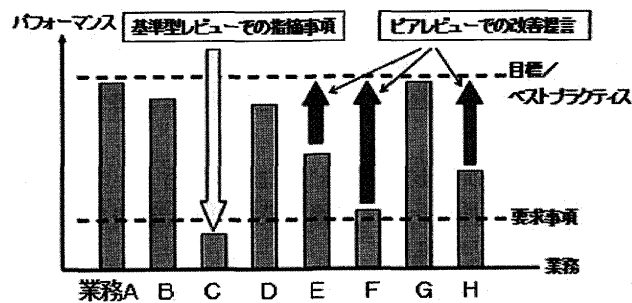


図3 ベストプラクティス追求型レビュー

であるベストプラクティスに比べて不足しているところ、さらに良くなるには何を改善すべきかを見つけて出すことがピアレビューの目的である。

原技協設立以降、INPOおよびWANOの手法を取り入れ、業界の最高水準に精通した経験豊かな海外のレビューワーカーの参加も得て7発電所で行った。この間、レビュープロセス自体も改善している。フォローアップレビューやNSネット時代のレビューを含めれば、発電所については通算23回のレビューを実施している。

3.1.2 これまでに得られた長所や改善提言

「長所」は他の発電所にとって有用であり、「改善提言」はレビューした発電所にとって安全性と信頼性向上のために役に立つものである。原技協のホームページでも公開しているが、その例を表2、表3に示す。7発

表2 発電所のピアレビューで得られた長所の例

分野	項目	具体例
運転	ヒューマンエラー防止	号機ごとに中央制御室、現場設備の色分けがなされている
技術支援	燃料の健全性維持	営業運転開始以降、燃料漏洩を一度も起こしていない
	耐震裕度の向上	耐震指針の改定を先取りして工事を開始している
組織と管理体制	協力企業とのコミュニケーション	協力企業と一体となったパトロールなどの日常業務での取り組みを行っている
	過去のトラブル反映	資料室に損傷機器の現物などが展示されている

表3 発電所のピアレビューで得られた改善提言の例

分野	項目	具体例
運転	当直員の役割分担	引継ぎ中の制御盤監視方法に改善の余地がある
	シミュレーター訓練の活用	講評で運転員の行動詳細に焦点が当てられていない
保守	玉掛け・揚重作業	使用可能ラベルの付いていないワイヤロープがある
	機器の分析・監視	発電所全体で体系的に傾向分析することが望ましい
技術支援	仮設機器に関する地震の影響	安全機器の近くに仮置きする場合の影響評価が不十分
	可燃物管理	仮置き可燃物の管理不十分
	異物混入防止	使用済み燃料プールまわりの異物管理エリアの設定不十分
放射線防護	被ばく低減	表示が最大値のみで線量分布図の表示が無い
	汚染拡大防止	汚染物を収納する手順に改善の余地がある
運転経験	運転経験の活用	作業打合せで過去の運転経験事例の紹介が無い、データベース化が不十分なために活用不便
組織と管理体制	作業安全個人保護具	保護具着用に関する規定が不明確である
	管理の有効性	高い水準の期待事項が設定されていない、問題を発見したその場での指導が少ない

電所の長所の合計は37件、改善提言の合計は86件である。改善提言には各発電所共通のものもあり、各発電所での改善が具体的に進むよう、共通弱点セミナーを本年度開始した。

3.2 メーカーなどのピアレビュー

対象となるのは、プラントメーカー、燃料加工メーカーとその開発機関、燃料キャスクメーカーなどの事業所である。NSネット時代を含め、45回実施しており、燃料加工メーカーは、本年度3巡目に入った。

レビューの考え方は、基本的には発電所の場合と同じであるが、レビュー期間は、3日間、レビュー分野は設計・製造、教育・訓練、組織・運営ならびに重点分野の4分野で行う。重点分野は、たとえばヒューマンエラー防止である。表4、表5に一部の事例を記す。

表4 メーカーなどのピアレビューで得られた長所の例

分野	項目	具体例
設計製造	チェックシートの活用	設計・開発段階におけるステップごとのチェックシステムの実行
教育訓練	技術伝承	重点分野を設定しアクションプログラムを確立し実行している
組織運営	コミュニケーション	信頼性関係のニュースの発行により品質重視企業文化を醸成している
	解決困難な問題への取り組み姿勢	経営層が率先垂範し、国の許可を伴う設備変更を行い安全対策を実現した
	リスクマネジメント	リスクを抽出し、安全対策を予防的に進めている
重点分野	ヒューマンエラー防止	不適合情報の作業手引書への反映
	地震時対応	深夜迅速な対応をしている

表5 メーカーなどのピアレビューで得られた改善提言の例

分野	項目	具体例
設計製造	情報共有の徹底	法令・規格類の改正情報の迅速な入手と反映
教育訓練	自己評価	受講者の意見・要望を収集し改善を継続する
組織運営	安全文化醸成の体系的取り組み	国内外の安全文化醸成活動をより広く学び、組織としての共通認識を高める
重点分野	ヒューマンエラー防止	危険予知活動の徹底

3.3 まとめ

発電所およびメーカーなどのピアレビューの総数は、NSネット時代から通算し68回であり、この間得られた長所は、761件、改善提言は351件である。5.1項に記す安全キャラバンでの良好事例についての安全情報交換会による活用など、会員間での情報共有に供している。

ピアレビューは、事業所の安全性と信頼性を向上させ、より高いステップに導くためのひとつの方策に過ぎない。この目的を達成するためには、時間をかけ地道にたゆま

ぬ努力を続けていくことが必要である。具体的には、ピアレビュー結果をフォローし、事業所の確実な改善に結びつけること、外部から客観的で公平な視点での提言を継続すること、ピアレビューの目的を広く伝え、定着させること、そして、これらを達成するために必要となる人材を継続的に育成し活用していくことである。

4. 安全文化アセスメント

JCO事故は、安全文化の欠如が何をもたらすかを事例によって示したものであり、安全文化醸成活動の動きが強まり、幅広く活動がなされてきている。しかし、事故や不祥事は依然として起こっており、安全文化の醸成に向けた不断の活動が強く求められている。そこで、原技協は、安全文化アセスメントを始めた。

図1のPDCAを廻すには、図4に示すように安全文化の醸成された状態と現状のギャップを認識する活動が必要である。安全文化アセスメントは、このために行っており、直接「見えない部分」に働きかけ、その反応からギャップを認識するものである。

さらにこのギャップを縮小する活動を支援するために5章に記す安全キャラバンや安全セミナー、ならびに教材の提供を行っている。

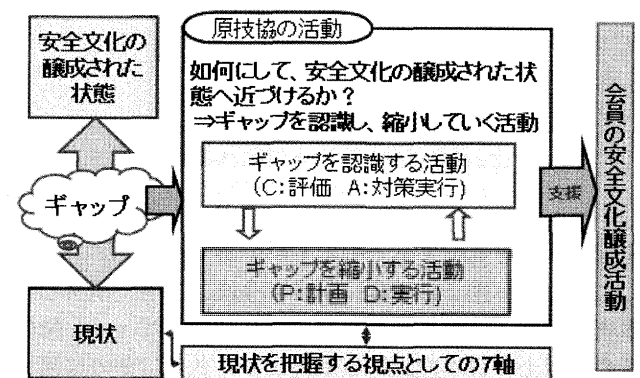


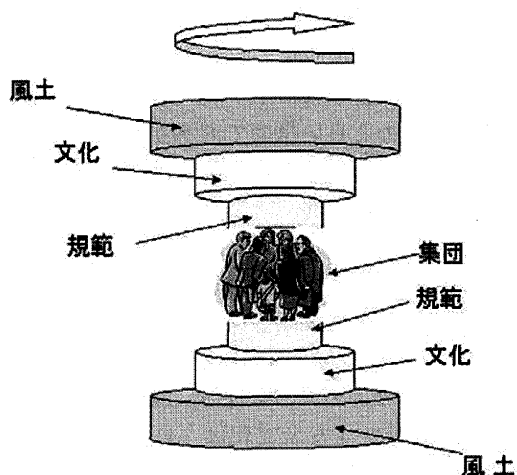
図4 安全文化醸成・向上の考え方

4.1 安全文化の醸成

図5は、集団規範と文化の関係を説明したものである。吉田¹⁾によれば、一般的に文化は風土を土台として創られ、その上に人間が行動する際の基準となる規範が形成される。逆に、新しい規範ができるとこれが文化を変える。原子力に携わる一人ひとりが、職場の安全に関する規範を、小さなことからでもいいので安全を優先する方向へ変えていくと、組織全体に影響し新しい安全規範が創られ、いつしか組織の安全文化が変わり定着するのである。

この動きに強い影響を与えるのが、経営トップの姿勢、管理者のリーダーシップ、職場環境および仕事に関する誇りと責任などである。

このように安全文化醸成は、個人と組織が一体となつて、時間をかけ地道に、当たり前のことを継続すること

図5 風土、文化と集団規範のスパイラル⁽¹⁾

により可能となる。当たり前のこととは、図1に示すPDCAを地道に廻していくことである。

4.2 安全文化の定義

原子力安全委員会は、JCO臨界事故などを契機に安全文化にかかわる組織問題の視点から安全文化の強化策を盛り込んだガイドラインの作成を指示し、内閣府からの委託を受けた財原子力安全研究協会は「原子力安全文化評価ガイドラインの検討に係わる調査（2005年3月）」⁽²⁾を取りまとめた。

原技協では、安全文化検討委員会を立ち上げ、上記ガイドラインを基本に、安全文化の状況を把握するための原則（視点）の検討を行い、これに国際原子力機関（IAEA）やINPOの知見などを考慮して、安全文化が醸成された状態を定義した。

〔定義〕安全文化の醸成された状態とは、安全を最優先するとの価値観を組織構成員全員が持ち、その価値観が組織の中に共通認識として定着し、その共通認識に基づいて行動がなされる状態

4.3 「原技協7原則」と下部項目

上記定義に基づき、表6に示す安全文化の状況を把握するための「原技協7原則」を設定した。その設定においては、安全性向上活動などをおして得たわが国独自と考えられる①多層構造による協力会社とのコミュニケーション、②発電所作業員のマイプラント意識による自主的活動の推進、③地元住民・自治体などへの説明責任の要求を考慮した。

さらに、安全文化が醸成された理想的な状態の定義に対して、発電所の現状を評価し、理想状態とのギャップを具体的測定するためには、「職場アンケート調査の項目」や「職場インタビューの項目」を定める必要がある。そのために、7原則の下に「7原則の要素」を、さらにその下に「現場を観る視点」を定めた。

表6 安全文化を把握するための「原技協7原則」

1	安全最優先の価値観；安全最優先の価値観が組織およびその構成員である個人に認識されている
2	トップのコミットメントとリーダーシップ；トップは安全へのコミットメントを明確にし、実現に向け強いリーダーシップを発揮する
3	安全確保の仕組み；業務や活動に安全確保の仕組みが取り込まれている
4	円滑なコミュニケーション；組織内部・関係機関および一般社会との間で円滑なコミュニケーションが保たれている
5	問いかけ、学ぶ姿勢；組織およびその構成員である個人は問いかけ、学び、責任を持って是正する姿勢がある
6	潜在リスクの認識；組織およびその構成員である個人は、業務や設備の潜在的なリスクを認識する
7	自由に物が言える職場；自由に物が言え、活気と創造力のある職場環境である

4.4 安全文化アンケート調査

上記7原則と「現場を観る視点」を使って安全文化アンケート調査を行い、長・短所を捉える。これは、発電所のみならず広く原子力産業界の1万人を対象としてNSネット時代から行っており、3年ごとに1回実施した。この調査の分析結果は安全意識を高めるために会員の各事業所での活用に使っている。

4.5 安全文化アセスメントの実施

上記調査結果を参考にして、発電所の所員にインタビューを実施し、個人の意識、発電所特有の状況や事実を把握し、気づき事項に対して対応策の例と他の良好事例を提示する。すでに5発電所で実施しており、その実施フローを図6に示す。

このアセスメントの特徴は、次のとおりである。

- ・多数意見を整理しプラスとマイナス意見に集約する。
- ・少数意見は、潜在リスクとなる可能性もあるマイナス

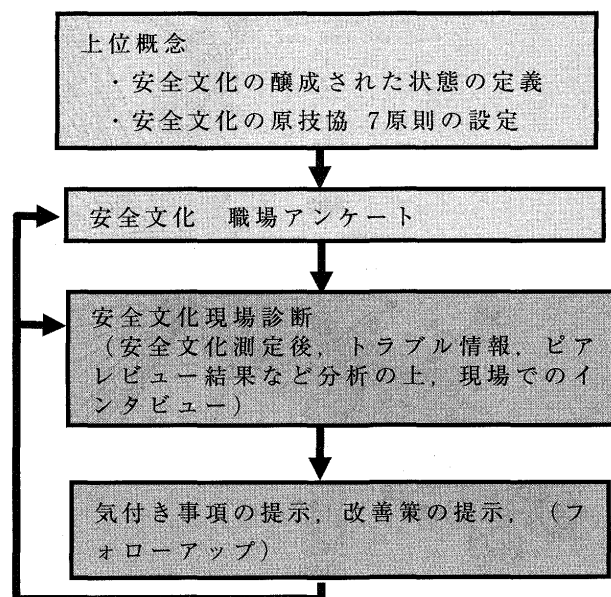


図6 安全文化アセスメントの実施フロー

意見のみ集約する。

- ・マイナス意見は、気付き事項として、これに対して対応策の例と他社での良好事例を提示する。
その結果次の効果が期待される。
- ・個人の意識と事業所特有の状況を、原技協の7原則で整理し気付き事項に対する対策例や良好事例を示すので、自主的活動のヒントとなる。
- ・アンケート調査でのバイアスの有無の確認とアンケート調査で表面化し難い少数意見の吸上げが可能となる。
- ・外部評価である。

今後、実績を積み中で、ピアレビュー結果と安全文化アセスメント結果の統合的運用をはかり、発電所の安全性と信頼性向上にさらに役立てていく。

5. ギャップを縮小する活動

5.1 安全キャラバン

安全キャラバンは、事業者の安全意識の高揚と緊張感の持続をはかるためにFace to Faceで意見を交換する場である。安全講演会のほかに他社の良好事例などについての安全情報交換会を全国の原子力に係わる事業所で行い、累積実施回数は100回を超えている。図7は、100回までの対象事業所の分布図である。

安全講演会のテーマは、ヒューマンエラー防止あるいはヒューマンファクター、コンプライアンスならびに企業倫理に関するものが多く、安全文化醸成に向けての各事業所の状況に応じたテーマを選んでいる。講演の内容は、安全文化醸成への取り組みにおいて人間の行動に関

する法則をうまく活用する方法や、他産業での事故未然防止にかかわる取り組みについての示唆に富んだものなどである。また、各事業所トップの安全に関する取り組み姿勢を知らしめる良い機会でもあり、これらの組み合わせにより、事業所内部の自発的行動がさらに活発となる効果が期待できる。

安全情報交換会においては、安全文化アンケート調査の分析結果の説明も行う。これを基にした討議により安全文化向上への具体的議論を深めている。

累積実施回数が昨年末100回を超えたことを契機に、第三者によるアセスメントを行い、改善の方向性をまとめた。主な内容は、「安全文化は、自己満足の瞬間からほころび始める」を常に意識し、安全キャラバンを契機として安全文化に関する事業者の前進的自発的行動が強化されるようさらに工夫することである。例えば、従来講演会が中心であったが、グループワークによりFace to Faceでの意見の交換にも力を注ぐ。事業者側からの要望の反映を充実させるとともに、安全文化上のあるべき姿を事業者側に繰り返し納得してもらおうことも続けていく。

5.2 安全セミナー

他産業における先進的な取り組みの紹介や、専門家の講演などによる安全意識の徹底や安全文化の向上に関する活動である。受動的な講演だけではなく、参加者のより能動的な安全文化の習得・構築に役立つように、体験型セミナーと研修型セミナーの2種類を行っている。いずれも2日間で行う。

前者では鉄道分野の研修所のご協力を得て、鉄道事故の緊急時対応について体験する。

後者では、航空分野で行われているCRM (Crew Resource Management) 演習に昨年から取り組んでいる。CRM演習は、事故未然防止のためのチーム行動に関するものであり、過去の航空機事故分析に基づく着目点と安全の重要性に気付くことの大切さについて学ぶ。演習内容は、「状況認識」と「コミュニケーション」である。航空機分野を他分野の例として学ぶだけでなく、原子力分野への置き換えを進めている。

5.3 教材の提供 (eラーニング、小冊子、講演録)

事業者の自主保安活動を支援するために、会員への学習教材の提供を行っている。

安全文化eラーニングは、次の2つである。

- ①「あなたが主役! 安全文化」知識から意識へ!そして行動へ!
- ②「仕事に生かそう! ヒューマンファクター」知識から意識へ!そして行動へ!

昨年の発電所総点検を踏まえ安全文化の学習が盛んにおこなわれるようになり、①については、利用者が1万人を超えている。

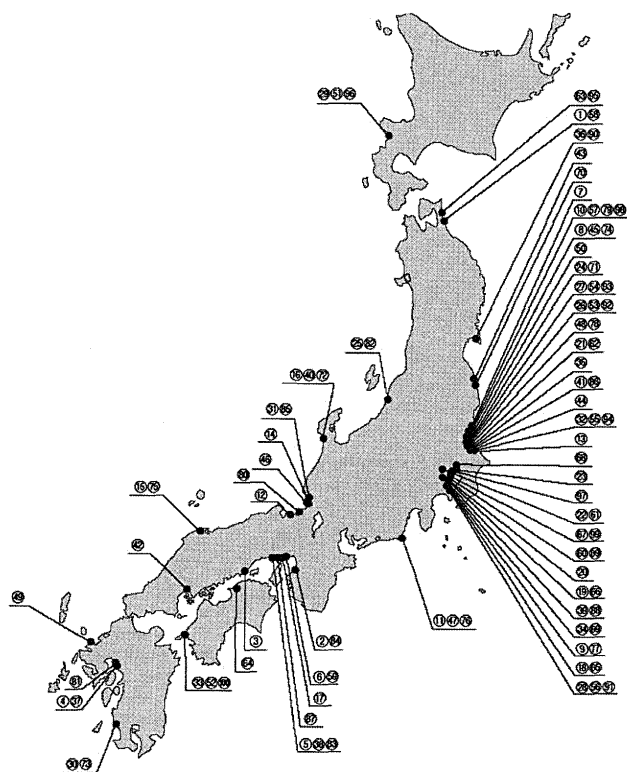


図7 安全キャラバン100回の軌跡

表7 安全文化小冊子

Vol.1	原子力安全文化って なに？
Vol.2	原子力の安全推進活動って どうやるの？
Vol.3	技術者倫理・企業倫理って なに？
Vol.4	ピアレビューって なに？
Vol.5	リスクマネジメントって なに？
Vol.6	ヒューマンファクターって なに？
Vol.7	原子力安全文化って なに？2

さらに、表7に示す安全文化小冊子（テキスト）を発行している。Vol.7は、e-ラーニング①の小冊子化であり、Vol.6のe-ラーニング化が、前記②である。

以上のほかに、前述の安全キャラバン、安全セミナーの講演録も発行し、講演を一過性のものとししないで活用できるよう、教材の充実を図っている。

6. 安全文化に関する情報発信・交換

会員の便宜を図るために、今まで述べた諸活動についての情報発信を、Webサイト、メール、刊行物で行っている。さらに、ピアレビュー、安全キャラバン、安全セミナーについての概要およびNSネットニュース（安

全文化の推進・向上活動状況をまとめたもの）は、原技協の使命の一つである透明性の確保を目指し、原技協の一般用ホームページにおいて広く公開している。

7. むすび

安全性および信頼性の向上活動は、終わりの無い活動である。個人と組織が一体となって、絶えず地道に、当たり前のことを継続する活動である。当たり前のことを行うとは、何が正しいか繰り返し自問自答することと、正しいと思う方向へ歩み続けることである。

ピアレビューや安全文化の醸成にかかわる原技協の諸活動が、原子力に携わる事業者の自主保安活動に組み込まれ安全性および信頼性向上のためのPDCAがしっかりと廻るよう、不断の努力と働きかけを続けていく。

引用文献

- (1) 吉田道雄,組織の安全とグループ・ダイナミックス: 集団的側面から見た安全, 電気評論, 89巻5号, (2004.5), 電気評論社, p17-22.
- (2) 財原子力安全研究協会, 原子力安全文化評価ガイドラインの検討に係わる調査, (2005.3)

特集：原子力発電所における安全・安心

地域社会とのリスクコミュニケーションと原子力施設の安全

土屋 智子*¹
TSUCHIYA Tomoko

キーワード：リスクコミュニケーション，リスク管理，原子力安全

1. はじめに

2008年9月10日，中部電力は，2006年6月に発生したタービン損傷事故について，日立製作所を相手取り，原子力発電所停止によって生じた「逸失利益」支払を求める損害賠償請求訴訟を起こすことを表明した⁽¹⁾。原子力施設における事故やトラブルのほとんどは，放射性物質の放出もなく，周辺住民へ影響を及ぼすこともない。しかしながら，人々の不安や地域社会からの信頼，環境・エネルギー問題などに及ぼす影響は大きく，徹底したリスク管理が求められる。

本稿では，原子力や化学物質管理・食の安全で行われているリスクコミュニケーションについて解説するとともに，東海村で行われている原子力安全に関するリスクコミュニケーション活動を紹介しながら，施設の安全対策との関係や住民の安心感・信頼感醸成のための課題を示す。

2. リスクコミュニケーションとは

リスクコミュニケーションは，1970年代初めに米国で生まれた言葉である。しかし，その定義は，社会が直面するリスク問題や関係者の考え方によって変化してきた。Leiss (1996) は，リスクコミュニケーションの変遷を3区分している⁽²⁾。

第1段階は1975年ごろから84年までで，基本的にリスクデータの開示とリスク比較の時代であった。その背景には，60年代後半から高まった環境運動や市民運動の中で，リスクに対する市民の理解と専門家のリスク評価結果が大きく乖離していることが示されたことがある。典型的な例は原子力発電であり，社会心理学を中心に，人のリスクの感じ方（リスク認知）や受容の程度に関する研究が数多く行われた。表1はそれらの結果を比較したものである⁽³⁾。この時期のリスクコミュニケーションでは，一般市民のリスク認知が高いのは知識や情報が少ないためであると考えられ，専門家による科学教育やリスク比較を用いた説得的コミュニケーションが一方的に

表1 様々な放射線に対する専門家と一般市民のリスク認知と受容の違い

	Technical experts	Public
Nuclear power/nuclear waste	Moderate risk Acceptable	Extreme risk Unacceptable
X rays	Low/moderate risk Acceptable	Very low risk Acceptable
Radon	Moderate risk Needs action	Very low risk Apathy
Nuclear weapons	Moderate to extreme risk Tolerance	Extreme risk Tolerance
Food irradiation	Low risk Acceptable	Moderate to high risk Acceptability questioned
Electric and magnetic fields	Low risk Acceptable	Significant concerns beginning to develop Acceptability questioned

Bord & O'Connor (1990) より作成

行われた。

第2段階は85年前後から始まり，リスクデータよりも受け手ニーズや受け手からの信頼が重視された。リスク認知研究によって，人々のリスク評価がリスクの大小だけによらないことが明らかになったり，マーケティング分野での研究から，受け手の特徴や状況に合わせた情報提供やコミュニケーションが効果的であることが示されたりしたことを受けた変化である。リスクコミュニケーションのコンサルティング企業も登場し，多くの実践的なコミュニケーション活動が行われたものの，あまり成功しなかったと言われている。そして，この不成功の経験が，National Research Council (NRC) によるリスクコミュニケーション再検討のきっかけとなった。

1989年NRCは，様々な分野の研究者による検討を経て，従来とは全く異なるリスクコミュニケーションの定義を発表した⁽⁴⁾。

リスクコミュニケーションの第3段階はこの定義に基づき，95年ごろから始まったとされている。新しい定義によれば，

リスクコミュニケーションとは，個人・機関・集団間での情報や意見のやりとりの相互作用的過程

であり，その成功は，

リスク問題に対する受け手の理解が高まり，受け手が十分情報を得ていると満足すること

原稿受付 2008年9月24日

* 1 財団法人電力中央研究所 社会経済研究所
〒201-8511 狛江市岩戸北2-11-1

とされている。また、リスクコミュニケーションの研究者らは、その目的を、受け手の理解や認知の変化あるいは合意形成などではなく、リスク問題解決のパートナーを生み出すことであると述べている⁽⁵⁾。これらの定義や考え方には、人々の知る権利や決定する権利、参加する権利などの基本的人権を重視する米国社会の価値観が強く反映されている。

行政・企業・専門家などにとっての問題は、上記の定義によるリスクコミュニケーションが、よりよい結果に至ることも意見の一致も保障していない点である。吉川(1999)は、プロセス重視のリスクコミュニケーションが求められる社会は、合意や最良の決定につながらないという点で新たなリスクを抱えており、そのような事態も考慮して備えることこそ、政策決定に関わる人や組織に求められる真の意味でのリスク管理ではないかと述べている⁽⁶⁾。つまり、現代社会のリスク管理は、科学的合理性だけでは解決できない複雑な問題として捉える必要がある。

日本には1990年代初めに木下富雄がリスクコミュニケーションの考えを紹介し、その考え方を表す言葉として「共考」を提唱している^{(7),(8)}。公の文書に「リスクコミュニケーション」が登場したのは平成8年度環境白書であり、化学物質排出把握管理促進法の施行を受けて、化学物質排出量や環境管理についてのコミュニケーション活動の必要性が示された。また、国内でのBSE牛発見などを受けて食品安全委員会が設置されると、食の安全に関するコミュニケーション活動が全国で展開されるようになった。

原子力業界では、2003年以降、地域社会を対象としたリスクコミュニケーションが実践されはじめている。八木ら(2007)は、2つの原子力立地地域で、住民と大学教員である原子力技術専門家との対話活動を実施した⁽⁹⁾。東京電力の検査データ改ざんを受け、福島と新潟の立地地域に住民代表による組織が設けられ、安全管理や信頼回復のための方策について市民と事業者との対話活動が続けられている^{(10),(11)}。

本稿で紹介する東海村のリスクコミュニケーション活動は、JCO臨界事故によってリスク意識や対話ニーズが高まった東海村で研究プロジェクトとして取り組まれた事例である⁽¹²⁾⁻⁽¹⁵⁾。プロジェクト終了後もNPO法人を設立し、継続的に原子力安全に関するコミュニケーション活動を展開している⁽¹⁶⁾。ここでは、東海村でのリスクコミュニケーション活動と原子力事業所のリスク管理との関係に焦点をあてて、地域住民との対話や関係づくりの重要性やリスクコミュニケーション現場の課題を示す。

3. 住民発案による原子力事業所の視察プログラム

3.1 背景

東海村は日本原子力研究所の誘致をきっかけに発展してきた自治体であり、原子力事業所に勤務する人の割合

が3分の1を占めると言われるほど関係者が居住している。このため、原子力事業への理解は高い地域とされてきたが、JCO臨界事故を契機に村民の中に「原子力リスクと隣り合わせで暮らしていることを考えなくてはならない」という意識が芽生えた。反面、「原子力への不安を話題にできない、これまでも話せなかった」という声も出された⁽¹⁷⁾。筆者らは、このような東海村の実情を踏まえつつ、2002年12月から東海村でリスクコミュニケーションの社会実験を行った。

この研究プロジェクトでは、東海村や周辺市住民への調査結果を踏まえて、「住民の意見によって何かが変わること示す」活動を実施することとし、「東海村の環境と原子力安全について提言する会」を設け、参加者を募集した⁽¹⁸⁾。最終的に参加した住民は16名である。自発的な参加者であるため、男性14名、女性2名、11名が参加時点で60歳以上であるなど、性別や年齢は偏っている。また、すべての男性が技術者もしくは研究者であり、6名は原子力事業所に勤務または出向した経験があった。

参加者が議論して決めた活動は、原子力事業所の安全対策を市民の視点で評価し改善案などを提案する「視察プログラム」である。この決定の背景には、事故後多くの村民が望んでいた防災対策のうち、「東海村内の原子力関連施設の査察を定期的に行い、結果を公表する」が2003年調査において最も実現度評価が低かったことがある⁽¹⁸⁾。また、参加者の多くが「臨界事故時に原子力についての知識が足りない」ことに気づかされており、原子力事業についての学習意欲が高かった。

3.2 視察プログラムの特徴

原子力事業所の安全対策の視察は、参加者の強い要望から、従来行政や事業所が実施していた施設見学会とは異なるものを目指した。実行委員会を設け、最初から住民が参加して視察場所などを決定している。また、事前説明会を実施し、事業活動への理解を踏まえて現場を見学する。見学後も議論の時間を十分とるように配慮した。視察後は参加者自身が感想や提案をまとめて視察レポートを作成し、レポートに対する事業所の考えを聞く機会も設けている。参加住民もしくは事業所側が議論が不十分と考えれば、さらに追加の対話機会を設けてきた。

このように、視察プログラムでは、事業所側と住民の対話機会が、実行委員会、事前説明会、視察当日、視察レポート提出後の最低4回あり、対応する事業所にとってはかなり負担となる活動である。しかしながら、どの事業所も丁寧に対応し、住民の提案のいくつかを採用している。2008年6月までに、原子力事業所の安全対策について7回の視察を行い、市民の視点での評価と提言を行っている。また、2007年には、過去に視察を実施した2事業所で不祥事とトラブルが発生したため、原因究明と今後の対策に関する説明を受け、議論を行った。

4. 住民の意見とリスク管理

4.1 住民からの指摘例

どの原子力事業所にも共通して言えることは、放射線安全に対する管理が徹底しており、視察参加者はその点については安心感が高まるということである。一方で、労働安全衛生など、放射線に直接関わらない部分でのリスク管理水準については、住民から様々な問題が指摘されている。

写真1は、作業者の通行上障害となるダクトに注意喚起表示が行われていなかった。写真2は通路上に障害物があった例である。いずれも慣れた作業者であれば問題なく通行できると考えられるため、特に対策が行われて

いなかった。写真1については視察時の指摘を受けてすぐに注意喚起表示が行われた。同様に、写真3は後から設置された配管を支えるものであるが、注意喚起ではなく、そもそも作業者がけがをしないような設計が必要とされた設備である。消火器を取りにきた作業者が頭を打つ可能性は高い。

写真4は消火器が柱や設備の影になって見えず、表示も正面からしかわからないようになっていた例である。住民の中には職場での火災に遭遇し、10メートル先の消火器が見つからなかった経験をもつ人がおり、写真5のようにどこからでも見える表示をすべきであると指摘している。

どの事業所に対しても共通して出る質問は、内部のコミュニケーションである。職位や部門の壁のほか、協力会社職員との関係も懸念されている。ある事業所については、部署によって整理整頓の状態が異なっていること

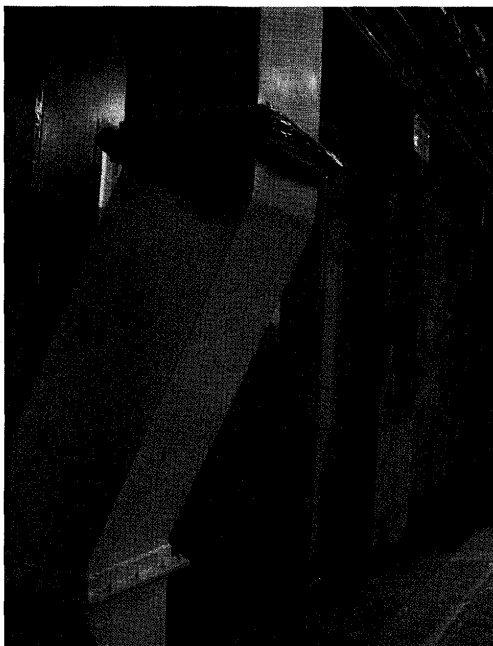


写真1 通路にはみ出している後付けのダクト

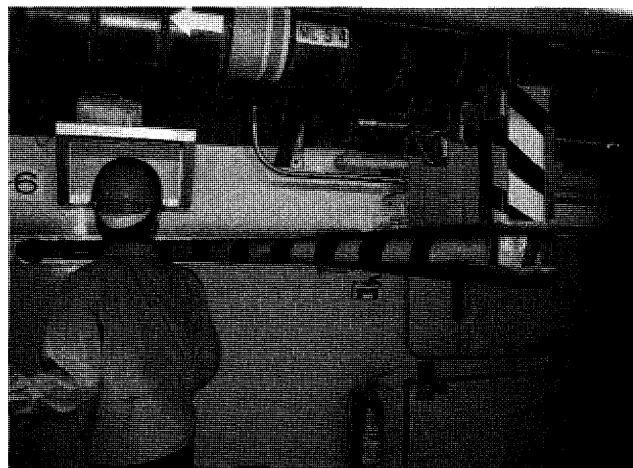


写真3 注意喚起はあるものの作業者のけがを招く可能性の高い設備

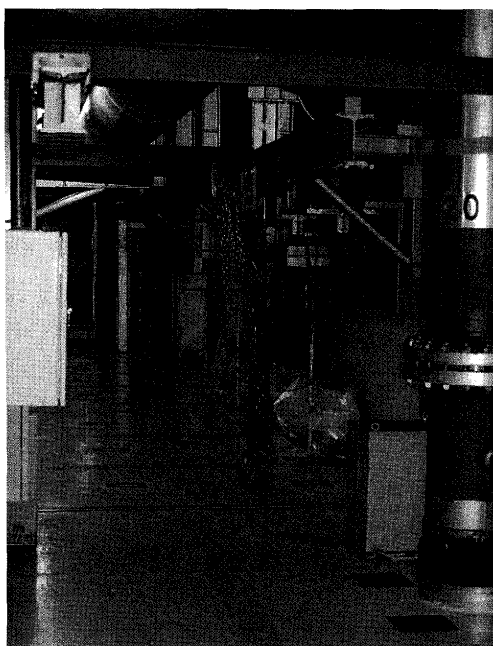


写真2 通路に下がっている鉤付きチェーン



写真4 消火器が柱や装置の影に隠れてほとんど見えない

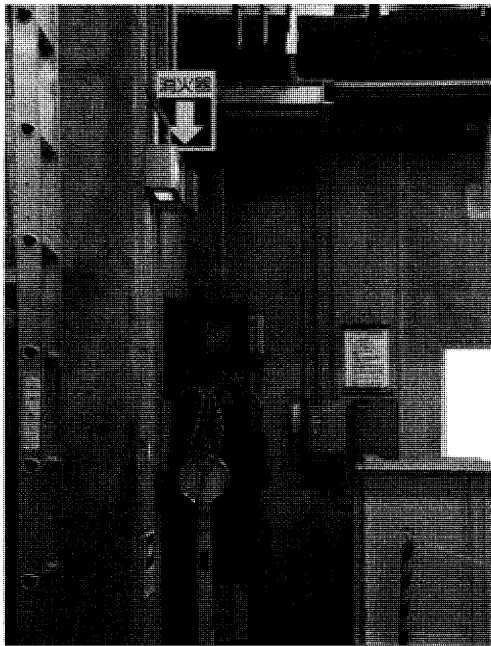


写真5 消火器表示の良い例。正面からも側面からも表示が見える

から「組織間に壁があるのではないかと疑問を抱いた参加者がいた。2年間無事故が続いているという事業所の説明に対して、住民側から「ヒヤリハットの報告件数が少なすぎる」「問題が起きても言い出しにくくなるのではないかと」の意見が出た。

4.2 リスク管理から見た市民の視点

以上の指摘例は、原子力安全にはあまり関係がないように思われる。しかしながら、参加者らは、「事業所の職員が安全でなくては住民は守れない」と考え、事業所全体の安全対策に目を配ってほしいと主張している。たとえば、関西電力美浜原子力発電所3号機での2次系配管の破裂による死傷事故は、放射線に関係がない部分の軽視が事故につながったと参加者らは捉えている。組織やシステムのリスクレベルは、個々のリスクの平均ではなく、最も脆弱な部分で決まる。脆弱な部分を発見するためにも、組織やシステム全体への目配りが求められるところである。

次に住民の指摘から学ぶべき点は、不慣れな職員や緊急時への対応である。何人かの視察参加者がある事業所の見学後、バルブの操作指示などの表示が不足しているのではないかと指摘した。これに対して事業所側は、「作業者は教育訓練を十分受けており、慣れている。作業手順書に従って操作をするので間違えることはない。表示がいろいろある方が問題を生む可能性がある」との回答していた。視察後、この事業所では、作業マニュアルの不備から不慣れな作業者がバルブ操作を誤り、施設を手動停止するトラブルが発生した。確かに原子力事業所の教育訓練は徹底したものであるが、すべての作業者の習熟度や経験が同じということはありえない。これは緊急時対応も同じである。作業員や状況の多様性を考慮し

て問題発生の可能性を考慮するリスク管理が求められる。

また、事業所側が示すトラブルの少なさや検査の多さは必ずしも住民の安心につながらない。例えば、トラブルが少ないことは経験不足のために新たなリスクを抱える可能性がある。報告が少ない要因としては、コミュニケーション上の問題を抱えている可能性も考えられる。様々な規制を遵守していることは、自ら考える能力が低下しないかという懸念を生む。検査に対応することに追われて、リスクを発見し対処するための資源が不足するのではないかという心配も生じる。このような住民の視点は、あるリスクを低減することが別のリスクを生むというリスク管理の難しさを改めて認識させる。

最後に、原子力事業の実態や現場を知ることによって、住民側は原子力産業がもつ課題にも気づきはじめていく。例えば、原子力事業所では設備ひとつを変更するにも膨大な手続き作業が必要であるが、それは写真1や3のような後付けの設備にみられる技術や設備更新の遅れ、変更管理の経験不足を招いている。20年以上も前に設計された設備を何とか工夫して使用している事業所に対して、住民側は最新の技術や考えを取り入れた設計からの根本的な対策を期待するが、これは原子力産業が有する構造的なリスクといえるのではなかろうか。

5. 住民とのコミュニケーションを施設の安全・安心につなげるために

4章で紹介した意見を述べる住民に対して、事業所側では「事業所の安全管理がなかなか理解してもらえなかった」との感想をもつ人もいるものの、「いつも見慣れた目では気付かない点を指摘していただいた」「第3者の目は必要」と前向きに受け止める人もいた⁽⁴⁾。リスクコミュニケーションの目的を考えると、パートナーとしての住民意見を事業所のリスク管理に役立てる姿勢が望まれる。2008年に2度目の視察を実施した事業所では、前回の反省を踏まえて、部署全体が住民意見を前向きに検討し、住民から「非常に変わった」「オープンな感じになった」と評価された。

このように、リスクコミュニケーションは継続的な実施によって地域社会との信頼関係を築くために役立つことが期待できる。実施にあたっては住民意見の扱い方が重要になるが、少なくとも東海村の住民は、「すべての住民意見を取り入れるべき」とは考えておらず、「妥当な意見のいくつかを採用すべき」「今後の住民説明に役立ててほしい」と考えている(図1)。

東海村のリスクコミュニケーション活動では、様々な職業経験をもつ住民がリスク管理に関わる提案をした。このような人はどのような地域でも見出すことができるであろう。重要なことは、住民の声を聞くだけでなく、安全管理に活用し、地域社会の安心と信頼を高めることである。そのためには、まず事業所側が住民を信頼して、現状の姿をありのままに見せることも重要である。

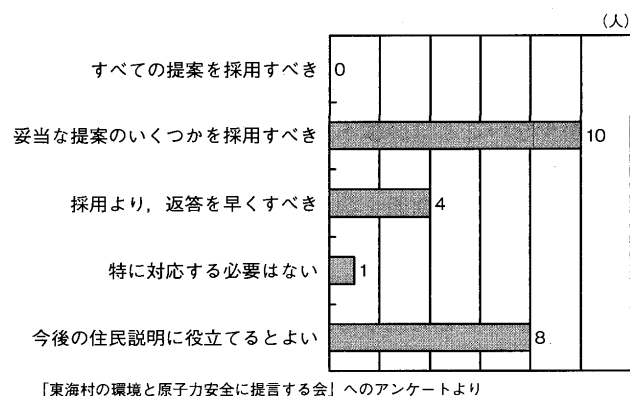


図1 住民提案の採用について

今年6月には、徳島県の要請を受けて四国電力橘湾発電所でリスクコミュニケーションが行われた。今後は様々な組織にリスクコミュニケーションが求められよう。「住民のため」や理解促進のためではなく、自らのリスク管理のためにリスクコミュニケーションを実施し継続する事例の増加を期待したい。

引用・参考文献

- (1) 朝日新聞2008年9月10日朝刊
- (2) Leiss, W., Three Phases in the Evolution of Risk Communication Practice, in Kunreuther, H. & Slovic, P. (eds.) Challenges in Risk Assessment and Risk Management, the Annals of the American Academy of Political and Social Science, Vol.545, (1996).
- (3) Bord, R.J. & O'Connor, R.E. Risk Communication, Knowledge, and Attitudes: Explaining Reactions to a Technology Perceived as Risky, Risk Analysis, 10, (1990), p.499-506.
- (4) National Research Council, Improving Risk Communication, (1989), National Academy Press.
- (5) Covello, V. T., McCallum, D. & Pavlova, M., Principles and Guidelines for Improving Risk Communication, in Covello, et.al. (eds.), Effective Risk Communication, (1989), New York: Plenum Press.
- (6) 吉川肇子, リスク・コミュニケーション 相互理解とよりよい意思決定をめざして, (1999), 福村出版
- (7) 木下富雄, 科学技術と人間の共生—リスク・コミュニケーションの思想と技術, 有福考岳編著, 環境としての自然・社会・文化, (1997), 京都大学学術出版会, p.145-191
- (8) 木下富雄, 第7章リスクの認知とコミュニケーション, 日本リスク研究学会編, リスク学事典, (2006), 阪急コミュニケーションズ
- (9) 八木絵香, 高橋信, 北村正晴, 「対話フォーラム」実践による原子力リスク認知構造の解明, 日本原子力学会と文論文誌, Vol.6, No.2, (2007), p.126-140
- (10) 福島県原子力発電所所在町情報会議
http://www.tepco.co.jp/nu/fl-np/i_meet/index-j.html
- (11) 柏崎刈羽原子力発電所の透明性を確保する地域の会
<http://www.tiikinokai.jp/>
- (12) 谷口武俊, 平成14年度原子力安全基盤調査研究原子力技術リスクC³研究: 社会との対話と協働のための社会実験実施報告書, (2003)
- (13) 谷口武俊, 平成15年度原子力安全基盤調査研究原子力技術リスクC³研究: 社会との対話と協働のための社会実験実施報告書, (2004)
- (14) 谷口武俊, 平成16年度原子力安全基盤調査研究原子力技術リスクC³研究: 社会との対話と協働のための社会実験実施報告書, (2005)
- (15) 原子力安全・保安院公募研究 原子力技術リスクC³研究HP (<http://tokaic3.fc2web.com/indextop.html>)
- (16) 特定非営利活動法人HSEリスク・シーキューブHP
<http://www7a.biglobe.ne.jp/~risk-c3/>
- (17) 土屋智子・谷口武俊, リスクコミュニケーション活動の設計—原子力と環境リスクに関する住民意識調査結果が示唆すること—, 日本リスク研究学会第16回研究発表会講演論文集, (2003)
- (18) 土屋智子・谷口武俊, 東海村におけるリスクコミュニケーション活動の評価—信頼形成要因と参加者の変化—, 日本リスク研究学会第18回研究発表会講演論文集, (2005)

注) 東海村での研究プロジェクトは、2002年度に経済産業省原子力安全・保安院が創設した提案型公募研究として採用されたものである。2003年10月以降は(独)原子力安全基盤機構に移管され、2004年度までの3ヶ年プロジェクトとして実施された。

特集：原子力発電所における安全・安心

技術者倫理

大場 恭子^{*1}

OBA Kyoko

1. はじめに

今年の10月26日で、東海村にある原子力研究所開発機構の動力試験炉で日本初の原子力発電に成功して45年となる。この間、わが国の原子力技術は、平和利用の理念の下、たゆまぬ努力と工夫を積み重ね、世界最高水準の安全性を確立するに至った。しかし、一般市民の原子力安全に対する不安感・不信感は、放射線被害もしくはその恐れを抱かせた事故や、事実の隠蔽、データの捏造、不正問題などによって増大してしまっている。すなわち、技術の安全確保の積み重ねは、一般市民の安心や信頼を得るために必要であるが、その上でさらに一般市民の立場に立った安心や信頼を醸成する努力がなされなければ、たとえ世界最高水準の安全性を確立したとしても、安心や信頼を得るには至らない。原子力界では、こうした現状への認識が高まる中、技術者倫理への取り組みがなされるようになった。

本稿では、「技術者倫理」の必要性について論じつつ、原子力界あるいは原子力技術によって社会を支えてきた原子力技術従事者が、現在「技術者倫理」についてどのように取り組み、また、今後、それらを通じてどのように社会に役立てていかなければならないかについて検討する。

2. 技術者倫理と社会からの要請

「技術者倫理」あるいは“者”を除いた「技術倫理」とは何か。すでにさまざまなところでその定義がなされているが、日本原子力学会の倫理規程に照らして考えてみたならば、「技術の行為者が、平和希求の精神の下、自身の専門能力に基づき、人類の福利のために、地球や地域を持続的発展に導く社会調和の取れた適切な判断を下すための、規範体系の総体。あるいは、この規範体系に基づき、判断を下すことのできる能力。」と定義できるであろう。ここでいう「技術の行為者」とは、人類の利益のため、自身の持つ科学的知識を用いた行為を行う者、すなわ「技術者」である。科学技術と社会の関係は、表1に示すように、メタ、マクロ、メゾ、ミクロという4つの相（レベル）に分けて考察できるが、本稿では、「技術“者”倫理」の範囲、あるいはそれに大きな

表1 科学技術と社会の関係

①メタ・レベル (技術そのもの)	技術の本質についての問題。技術は人類に幸福をもたらすか等、科学史・科学哲学などの分野の学者を中心に語られている問題。
②マクロ・レベル (技術と社会)	技術の急速な発展に起因した地球規模の未曾有の問題。 【例】環境（倫理）問題、生命倫理問題、情報倫理問題。
③メゾ・レベル (制度・複数の個からなる組織)	経済活動のグローバル化に伴って、技術者の制度・組織に対する、要請の変化に伴う問題。
④ミクロ・レベル (科学技術者個人・組織)	個々の技術者や企業の問題。

影響を及ぼしているメゾおよびミクロのレベルの問題に論点を絞り、技術倫理への高度技術社会からの要請について述べる⁽¹⁾。

2.1 メゾ・レベルの問題

制度や組織に関連するメゾ・レベルでは、経済のグローバル化に伴い、国境を越えて活動する技術者の資格をどのように相互認定するかが大きな問題となっている。例えば、アジア太平洋経済協力会議（Asia Pacific Economic Cooperation : APEC）は、1995年のAPEC首脳会議を受け、エンジニア資格相互承認プロジェクトに着手し、2000年には「APECエンジニア・マニュアル」を公表し、表2にあるようなAPECエンジニアの要件を示した。こうした動きに対し、国内では、1997年7月に発足した日本工学教育協会、日本工学会、日本学会会議、経済団体連合会などの産業界の代表、関係省庁による「国際的に通用するエンジニア教育検討委員会」や、8大学工学部長会議（後に17大学に拡大）において、さまざまな議論が重ねられた。エンジニアの相互承認の動きは、EUをはじめ、他の地域でも進んでいる。

教育における認定制度は、1930年代からの伝統を持つ米国工学系高等教育課程認定機関（The Accreditation Board for Engineering and Technology : ABET）の取り組みが、歴史と実績から国際的な影響力を持っている。特に注目すべきは、ABETが1990年代後半に、新しい認定基準である“Engineering Criteria 2000”を発表し、

原稿受付 2008年10月8日

*1 金沢工業大学 科学技術応用倫理研究所

〒150-0001 東京都渋谷区神宮前1-15-13

表2 APECエンジニアの要件

- ・認定または承認されたエンジニアリング課程を修了していること、またはそれと同等の者と認められていること。
 - ・自己の判断で業務を遂行する能力があると当該エコノミーの機関で認められていること。
 - ・エンジニアリング課程修了後、7年以上の実務経験を有していること。
 - ・少なくとも2年間の重要なエンジニアリング業務の責任ある立場での経験を有していること。(この2年間は上記7年の内数としてもよい)
 - ・継続的な専門能力開発を満足すべきレベルで実施していること。
- このほかに、以下2項目にも同意しなければならない。
- ・自国および業務を行う相手エコノミーの行動規範を遵守すること。
 - ・相手エコノミーの免許又は登録機関の要求事項及び法規制により、自己の行動について責任を負うこと。

2000年11月1日科学技術庁/建設省発表資料より

21世紀へのビジョンと新しいエンジニア像の提唱ならびにそれに伴う新しい工学教育の方向性を提示したことである。この“Engineering Criteria 2000”によりABET認定を受ける教育機関は、実施している教育プログラムの卒業生に対し、ABETの定める11の項目に記されている知識・能力を持つことを実証しなければならなくなった。この項目には「専門家であることとその倫理的責任への理解」、「技術的な解決が地球や社会に及ぼす影響の理解」、あるいは「効果的なコミュニケーション能力」などが挙げられている。すなわち、“Engineering Criteria 2000”は、新しいタイプのエンジニア像を提示するとともに、技術者の社会的な責任に対する意識と理解を求めたのである。

このようなABETの取組みは、当然、1999年11月に設立された日本技術者教育認定機構(The Japan Accreditation Board for Engineering Education: JABEE)に大きな影響を及ぼした。JABEEの掲げる学習・教育目標には「技術者倫理」という言葉が明記されている。これにより、JABEE認定を受ける工学系教育プログラムは、技術倫理教育を行わなければならなくなった⁽²⁾。

一方、技術者資格と技術者教育の連動も図られ、2000年には技術士法が改正された⁽³⁾。この改正に伴い、技術士は、資格取得後の研鑽が責務として明文化された。現在、技術士会と専門学協会が、継続教育(Continuing Professional Development: CPD)制度を整備しているが、例えば、土木学会の推進しているCPD教育では、基礎共通分野に、一般科学、環境、社会経済動向、法律・契約などと合わせ、倫理が挙げられている。また、2000年以降の技術士試験には、倫理問題が出題されている。

2.2 ミクロ・レベルの問題

最近の不祥事によって顕在化した個々の技術者や企業の問題は、一般に「技術倫理問題」として想像が易いと

思われる。1990年代前半まで、企業不祥事といえば経営の問題であり、とりわけ総会屋との関係が主であったが、技術が一定の成熟を見せた昨今では、技術の現場を舞台にそこで働く個人あるいは組織の判断が関係した事件や事故が起きていることは、昨今のニュースを思い浮かべていただければ理解していただければよい。これら技術の絡む複数の不祥事を、単に不祥事を起こした個人、あるいは組織の特有の問題として片付けてはならないことは、社会へ与えた衝撃の大きさからも明白である。現代社会において、技術の行為者である個人や組織がどうあるべきかを、改めて考え直さなければならない。

3. 原子力界における技術倫理の取組み

3.1 企業における取組み

2002年の東京電力(株)の原子力発電所の点検・補修作業に係る一連の不正問題以降、各原子力発電所によって自主点検作業の適切性確保に関する総点検の報告がなされた。しかし、それでも十分にはならず、2006年に改めて経済産業相から全電力会社に対して全発電設備の総点検(データ改ざんや手続き不備等)が指示され、2007年にはその点検結果および再発防止策の報告がなされた。こうした報告のすべてに「企業倫理」、「法令順守(コンプライアンス)」などの言葉が織り込まれており、現在、各電力会社では、倫理に関するさまざまな取組みを始めており、その流れは協力企業にも広がっている。

そうした中、特に東京電力(株)は、失われた立地地域や社会からの信頼の回復を最優先の経営課題と位置づけた技術倫理を含めた企業倫理の確立、再発防止に取り組んでおり、その取組みは社会から高い評価を得ている⁽⁴⁾。以下に、東京電力(株)の取組みの具体的な項目を簡単に紹介する。

①「しない風土」への取組み

- ・業務の的確な遂行に向けた環境整備
- ・企業倫理の徹底

②「させない風土」への取組み

- ・情報公開と透明性確保
- ・原子力部門の監査の強化と企業風土の改革

このうち、①のひとつである企業倫理の徹底としては、「企業倫理遵守に関する行動基準」の制定および「企業倫理委員会」の設置、企業倫理に関する部署としての「企業倫理グループ」の発足などがある。特に行動基準の制定については、関連する委員会や部署関係者のみならず、各支店や部署へ企業倫理グループのメンバーが意見交換に赴き、それらの結果を踏まえてまとめており、さらにその後改定作業もなされていることは、特筆すべきだ。また、企業倫理活動では「定着」が重要と考えることから、職場が自主的に実施することを目指し、わかりやすい解説(行動基準冊子、e-ラーニング、QA集)の作成や、ケース・メソッドの実施、モニタリング調査、すぐれた倫理の取組みを表彰する「金のベル」など、

さまざまな施策や工夫がなされている。

3.2 ニュークリア・セイフティー・ネットワークの取組み

原子力界における技術者倫理の取り組みを先駆けて行った組織として、特筆すべきは、JCO臨界事故以後、原子力産業を担う研究機関・電力会社・メーカーが会員となり、安全文化醸成のために作られた「ニュークリア・セイフティー・ネットワーク（通称：NSネット）」である⁽⁵⁾。当組織では、平成14～15年度の活動機軸の一つとして「技術倫理」を取り上げ、安全キャラバンなどでの主題としているほか、技術倫理を取り上げた小冊子の作製なども行っている。

3.3 日本原子力学会の取組み⁽⁶⁾

そもそも、学会はなぜ技術者倫理に取り組むのであろうか。各学会は、技術者倫理への取り組みのスタートとして倫理綱領を制定しているが、その背景には、内的要因と外的要因がある。内的要因は、これまで科学技術上の専門知識や能力を重視し、自律的に学会員や学会の行動を見直すような作業を行ってこなかった学会が、学会員が社会に大きな影響を与える可能性のある業務に携わる者であり、またその業務について社会から信託されていることを重視するようになったことにある。学会はこの視点の広がりにより、学会員の拠り所となる重視すべき「価値」やその順位の明示されたものとして倫理綱領を制定するに至った。他方、外的要因は、欧米の学協会が倫理綱領を保有していることからくる国際的圧力と、1996年の情報処理学会による倫理綱領制定以後、国内の各学協会が倫理綱領の制定あるいは改定の取組みを行ったことにより、「学会には倫理綱領が必要である」という流れが出てきたこと、あるいは社会からの要請などが挙げられるであろう。

日本原子力学会が、技術倫理への取組みの第一歩として倫理規程制定を目的とした日本原子力学会倫理規定制定委員会（以下「制定委員会」）⁽⁷⁾を組織し、その第1回会議を行ったのはJCO臨界事故の直前の1999年9月である。以後、制定委員会はさまざまな議論を重ね2001年に「前文」、「憲章」のみならず、より具体的な行動によって規程で何を述べたいのかを説明している「行動の手引」を日本の学会としてはじめて加え、それら3つからなる「日本原子力学会倫理規程」（表3、以下「倫理規程」）を制定し、その活動を終えた。

その後、日本原子力学会では制定委員会の最終報告に基づき、2001年末に新たに日本原子力学会倫理委員会（以下「倫理委員会」）を設置した。倫理委員会は倫理委員会規程に基づき、2ヶ月に1度の頻度で会議を行い、倫理規程の改訂（2003年、2005年、2007年）や事例集の発行（2006年、2008年）、年会・大会における企画、技術倫理研究会の実施（年2回、概ね7月と11月に開催）、

学会員への浸透度アンケート等の積極的な活動を行っている。このような原子力学会の制定委員会および倫理委員会の活動は、倫理綱領を制定・改定するまでの手続きのあり方や情報の公開性などについては優れており、また倫理の問われるような事象（事実の隠蔽、やデータの捏造、不正問題など）に対しても積極的に発言を行っていることから、技術倫理への取り組みを実施している学会の中でも注目される1つとなっている。しかし、倫理委員会の委員として実感することは、誠に残念ながら、日本原子力学会会員における倫理委員会の活動や技術倫理への関心度が、倫理委員会への外部からの評価と比較し低いと言わざるを得ず、その活動は未だ十分とはいえない。

4. 技術者倫理と価値共有プログラム

技術倫理の必要性やすでに原子力界で行われている取組みについて述べてきた。しかし、技術者倫理は、取り組みを行いさえすればそれが浸透したといえるものではない。昨今、社会からの企業倫理への取り組みの要請や実際の企業倫理の取り組み等により、原子力技術者個々の技術倫理の必要性についての理解は進み、たとえば「倫理」は個人のものであり、教育で扱うものではないという固定観念、技術と「倫理」は関係ないという態度などは少なくなったように思われる。しかし、改めて本稿2.において定義した「技術の行為者が、平和希求の精神の下、自身専門能力に基づき、人類の福利のために、地球や地域を持続的発展に導く社会調和の取れた適切な判断を下すための、規範体系の総体。あるいは、この規範体系に基づき、判断を下すことのできる能力。」を振り返り技術者倫理の目標や目的を考えた場合、一般に技術者倫理という言葉から受け止められている内容とに差異を感じざるを得ない。すなわち、技術者倫理という言葉から、たとえば「社会調和」や「判断を下すことのできる能力」といったものは想像されるのであろうか。技術者倫理の目指すものや扱うべき範囲が矮小化されて受け止められてしまっていないだろうか。

筆者はいくつかの大学や企業での講義や講演を通じ、「倫理」という言葉の使用が技術者倫理の構築に弊害となっていることを実感した。そこでこのような状況を打開し、有効な技術倫理を原子力界はもちろん、技術界全体に導入し推進するためには「倫理」という言葉のできる限り排除した新しい概念が必要と考え、「価値共有プログラム」というのを提唱している。技術者倫理を、「個人や当該組織（団体・企業など）が、ステイク・ホルダー（すべての関係者。例えば、組織の構成員、消費者、顧客、地域社会など）と、“価値”を共有していくための“価値共有プログラム”である」として転換してみてはいかがだろうか⁽⁸⁾。

著者の述べる「価値共有プログラム」とは、産業界などでその有効性が広く知られているPlan（計画）→Do

表3 原子力学会倫理規程

2001年 5 月23日	第433回理事会承認
2001年 6 月27日	第43回通常総会決定
2001年 9 月25日	第436回理事会承認
2003年 1 月28日	第449回理事会改訂承認
2005年11月25日	第477回理事会改訂承認
2007年 9 月19日	第490回理事会改訂承認

我々日本原子力学会会員は、原子力技術が人類に著しい利益をもたらすだけでなく、大きな災禍をも招く可能性があることを深く認識する。その上に立って原子力の平和利用に携わることができる誇りと使命感を抱き、原子力による人類の福祉と持続的発展ならびに地域と地球の環境保全への貢献を強く希求する。

日本原子力学会会員は原子力の研究、開発、利用および教育に取り組むにあたり、公開の原則のもとに、自ら知識・技能の研鑽を積み、自己の職務と行為に誇りと責任を持つとともに常に自らを省み、社会との調和を図るよう努め、法令・規則を遵守し、安全を確保する。

これらの理念を実践するため、我々日本原子力学会会員は、その心構えと言行の規範をここに制定する。

憲章

1. 会員は、原子力の平和利用に徹し、人類の直面する諸課題の解決に努める。
2. 会員は、公衆の安全を完全に優先させてその職務を遂行し、自らの行動を通じて社会の信頼を得るよう努力する。
3. 会員は、自らの専門能力の向上を図り、あわせて関係者の専門能力も向上するように努める。
4. 会員は、自らの能力の把握に努め、その能力を超えた業務を行うことに起因して社会に重大な危害を及ぼすことがないよう行動する。
5. 会員は、自らの有する情報の正しさを確認するよう心掛け、公開を旨とし説明責任を果たし、社会の信頼を得るよう努める。
6. 会員は、事実を尊重し、公平・公正な態度で自ら判断を下す。
7. 会員は、一社会人として法令や社会の規範を遵守し、その範囲内で自らの業務に係る契約を誠実に履行する。
8. 会員は、原子力業務に従事することに誇りを持ち、その業務の社会的な評価を高めるよう努力する。

行動の手引

本倫理規程は日本原子力学会会員の専門活動における心構えと言行の規範について書き示したものである。我々会員はこれを自分自身の言葉に置き直して専門活動の道しるべとすることを宣言する

我々を取り巻く環境は有限であり、かつ人類だけのものではないことから、会員は地域と地球の環境保全に対する最大限の配慮なしには人類の福祉と持続的発展は望めないとの認識に立つて行動する。

日本原子力学会会員には個人会員（正会員、推薦会員、学生会員）のほか、企業や法人等の組織が対象となる賛助会員がいる。そのため本倫理規程には、個人として守るべきものばかりでなく、組織が守るべきものも含まれている。組織の構成員は組織の利益のみを優先させ、組織の責務を軽視する場合があるが、そうであってはならない。さらに個人個人の責任を果たすことなく組織の責務を果たすことはできないことを銘記する。また、賛助会員は、本倫理規程が遵守されるよう、率先して組織内の体制の整備に努める。

本倫理規程は会員の活動について定めたものであるが、非会員が生じさせる原子力分野におけるトラブルに対しても、原子力の専門家集団である我々会員は一定の責任を有することを自覚する。すなわち会員は、倫理能力を含めたすべての分野において責任ある役割を果たすことで、非会員も含めた原子力関係者の倫理を向上させるよう努める。

以下に記す条項は、前文と憲章で述べた規範を実現するため考えるべき事柄である。我々はここに記述した条項すべてを同時に守りえない場面に遭遇することも認識している。そのような状況において、一つの条項の遵守だけにこだわり、より大切な条項を無視しないよう注意することが肝要である。多くの条項を教条主義的に信じるのではなく、倫理的によりよい行動を探索し、実行することを誓う。

個々の会員の倫理観は細部に至るまで完全に一致しているわけではなく、またある程度の多様性は許容されるものである。しかしその多様性の幅についても明示していくよう、今後努力する。また、規範は時代とともに変化することも念頭に置き、我々は本倫理規程を見直していくことを約束する。

なお、1-1. から1-3. は憲章第1条関係、2-1. から2-9. は憲章第2条関係というように、それぞれが憲章の条文と対応しているので、憲章の条文と合わせて読んでいただきたい。

(以下の条文については、http://www.aesj-ethics.org/02_/02_02_/等を参照のこと)

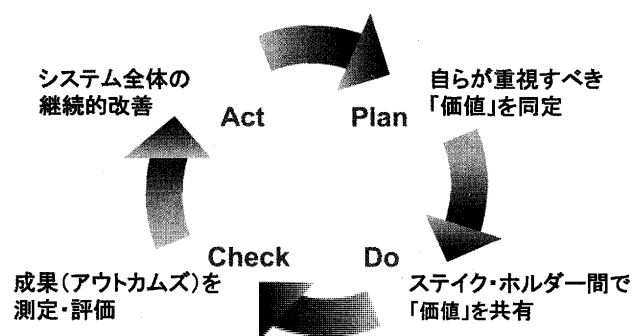


図1 価値共有プログラム概念図

(実施) → Check (検証, 評価) → Act (施策, 見直し) の4段階からなるサイクル (通称PDCAサイクル) を援用したものであり、①自らが重視すべき「価値」を同定し、②それらをステイク・ホルダーの間で共有し、③その成果 (アウトカムズ) を測定・評価し、④それらの結果を基に、システム全体を継続的に改善しようとする包括的取組みである (図1)。これを、たとえば学会の技術倫理の活動にあてはめると、Plan: 学会のステイク・ホルダーを同定したのち、学会の使命ならびに重視すべき「価値」およびその順位を明確化するとともに、それ

らを共有するための施策を企画し、Do：明確化した「価値」およびその順位を学会員だけでなく、すべてのステイク・ホルダー間で共有するために教育研修や支援・褒賞・制裁などの制度を実施し、Check：その共有の度合いをさまざまな分析方法を用いて測定・評価し、Act：その結果を基に、システム全体を継続的に改善しようとする包括的取組を行うこととなる。また、この価値共有プログラムを有効に機能させるために重要となるのは、Plan-Do-Check-Actを螺旋的に展開する、つまりAct→Planと繋がるPDCAサイクルの構築である。価値共有プログラムとして技術倫理を捉えることにより、その目的に即した「倫理」に囚われない取り組みの実現にも期待したい。

5. おわりに

技術が高度化・細分化し、技術と社会の関係が本質的に変化した現在、技術者に倫理的問題解決能力が求められているのは自明であり、「技術者倫理」は原子力のみならず技術に携わるすべての者に必要不可欠な能力である。

現在、国内における技術者倫理への取組みは、教育機関などの組織、企業等の団体、学協会を中心に行われており、原子力界においても、東京電力㈱や日本原子力学会の積極的な取組みは高く評価されている。しかし、既存概念やシステムの下で「倫理」の取組みを行うにはさまざまな障害が存在しており、本来、目指すべき技術者倫理を構築していくには、より大きな概念である「価値共有プログラム」を用いることが有効と考えられる。技術を取り巻くすべてのステイク・ホルダーを包含して、Plan→Do→Check→Actと価値共有プログラムを回し続けることは、技術者に倫理的行動を促すための制度設計として有用ではないだろうか。

原子力技術がより信頼される技術となるには、原子力の技術者およびその集団である企業等の組織や学会が、高い信頼を社会から寄せられる存在とならなければ

ならない。そのためには、各組織および原子力界全体での「価値共有プログラム」の概念に基づく制度設計を行い、重要なステイク・ホルダーである一般市民との価値の共有を含め、積極的な技術者倫理活動を展開することが必要であろう。

原子力界において倫理的風土がますます高まり、原子力技術全体がより高い信頼を社会から寄せられる技術であり続けられることを、原子力界に身を置く一人として、切に願っている。

注 釈

- (1) 技術倫理の諸相については、例えば、札野順，“科学技術倫理の諸相とトランス・ディシプリナリティ”，科学技術社会論研究，1，204～21（2002）などを参照のこと。なお、メゾとミクロをまとめてミクロとすることもできる。
- (2) ただし、原子力は現在、JABEEが設定している12分野に含まれていない。この点について、今後、日本原子力学会としての対応を検討している。
- (3) 平成15年6月2日開催の科学技術・学術審議会において、新しい技術部門として「原子力・放射線」部門が設置された。
- (4) 東京電力㈱の企業倫理に関する取り組みについては筆者が分担講師を務めている放送大学「技術者倫理（2009年4月から放映）」で詳しく取り上げる予定である。
- (5) 現在、NSネットは、日本原子力産業技術協会のNSネット事業部として活動を継続している。詳しくは、<http://www.gengikyo.jp/katsudo/NSnetJigyoTop.html>参照のこと。
- (6) 日本原子力学会倫理委員会の活動は、<http://www.aesj-ethics.org/>を参照のこと。
- (7) 学会の倫理綱領は「日本原子力学会倫理“規程”」であるが、制定委員会の名称は「日本原子力学会倫理“規定”制定委員会」が正である。
- (8) 価値共有プログラムの概念については、例えば、安藤恭子，札野順，“科学技術倫理の構築へ向けて—価値共有プログラムの可能性”，科学技術社会論学会第1回年次研究大会予稿集，p. 75～78（2002）。

特集：原子力発電所における安全・安心

安全文化とは何か、何が必要か －安全文化の維持・醸成に必須の要因を考える－

高野 研一*1
TAKANO Ken-ichi

Key Words : Safety Culture, Accident, Huge Complex System, Hazards, Safety Management

1. はじめに

1986年に発生したチェルノブイリ原子力発電所事故が、当時のソビエト連邦社会の抱えていた問題や組織の硬直化に大きく影響されて発生したことが次第に明らかになる中で、国際原子力機関（IAEA）の報告書INSAG-1～4では、社会から信頼され、安心される原子力発電所とするためには、何ものにも左右されない強固な「安全文化」を築くことの重要性が指摘された^{(1),(2)}。我が国においても、1999年に発生した東海村核燃料転換工場における臨界事故は、関係者ばかりでなく、一般市民にも大きなインパクトを与えた。この事故と相前後して、患者取り違い（医療）、乳飲料毒素混入（食品）、リコール隠し（自動車）、牛肉偽装（食肉）、列車衝突（鉄道）、ニアミス（航空）、ロケット打ち上げ失敗（宇宙）などが次々と発生し、さらに、最近では、廃棄物発電（RDF）火災、高炉爆発、工場火災、油槽所火災、製油所タンク火災、配管破損などの重大事故が連続して発生している。これらの事故・事件は、表面的には、作業者の単純なエラー・規則違反や作業環境の問題が主因となっているが、背後には経営・管理層が進めた安全体制の緩慢な後退、コストやスケジュール優先の職場風土、工程・手順管理の形骸化、教育の欠如など安全文化に係わる問題点があったとされる⁽³⁾。このような組織風土や管理に深く根ざした組織要因が関与して発生する事故を、英国のリーズンは組織事故と呼び、その発生過程を図1のようにモデル化した⁽⁴⁾。すなわち、「社会情勢や組織の円熟化などの影響を受けやすい組織要因や職場環境が、通常10年以上の長い年月に渡り、幾重もの防護層にほころびや欠陥を生じさせ、弱体化・無力化した状態で、不安全行動を起すと、それが引き金となって一気に大惨事に至る」という図式である。つまり、システムが複雑化・大規模化すれば、その信頼性・安全性を維持するために前述の深層防護（多重防護）が必要になる。これらの複数の防護層に偶然あるいは意図的な欠陥が生じると、そ

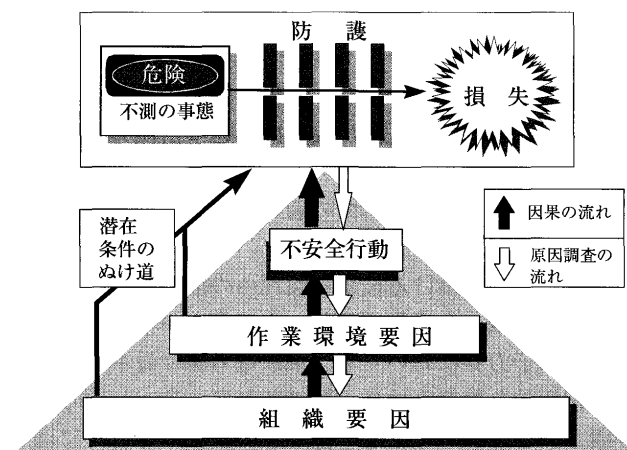


図1 組織事故の発生過程

－長年の安全性軽視や工程優先などの組織要因が「潜在的抜け道」を通じて徐々に無力化していった防護層を不安全行為が引き金となって突き破り、潜在的危険が顕在化する⁽³⁾

の防護層の数が多く、相互作用も複雑になりやすいため、十分な検査や監視が行き届かなくなり、防護層の弱体化、無力化が進み、これが意図的に組織のコンセンサスが得られる形で実行されれば、組織事故が発生する危険性がますます高まる。このような組織事故を防止するには、すべての防護層の健全性を常時監視していくということに尽きる。この監視を支える「しくみ」とそれを可能にする組織、職場、個人の特性が安全文化の本質的な部分と考えることができる。本稿では、その「しくみ」と特性について、進めてきた研究・調査に基づき、①内外の研究状況、②過去の組織事故の共通要因、③各種事業所の安全診断結果、④安全優良企業の訪問調査など内外のGood Practice（良好事例）などを題材に安全文化醸成・維持に向けた取り組みについて述べる。

2. 安全文化の捉え方・考え方の流れ

安全文化の諸要素については、様々な議論のあるところであるが、これらを整理すると、図2のような階層構造をなしていると考えられる。すなわち、安全性向上の目的であるセーフティパフォーマンス（安全成績）を

原稿受付 2008年10月2日

*1 慶應義塾大学 大学院 システムデザイン・マネジメント研究科
〒223-8521 神奈川県横浜市港北区日吉4-1-1 協生館

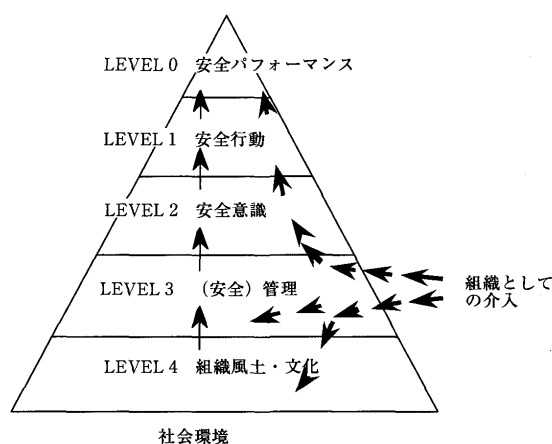


図2 安全パフォーマンス(事故発生率)を頂点とした組織風土・文化、(安全)管理、安全意識、安全行動の関連構造図
組織として管理に介入することによって、組織風土・文化、安全意識・行動に影響を与え、最終的に安全パフォーマンスを向上することができる

目標として、全体を構造化すると、「LEVEL 0には安全パフォーマンス(事故発生率)」、「LEVEL 1には、それを支える職員の安全行動(作業・業務・措置・協力)」、「LEVEL 2には、行動を支配する安全意識(作業態度・注意・懸念・参画)」、「LEVEL 3には、安全意識を育てる安全管理(作業標準・安全施策・評価・教育/訓練)」、「LEVEL 4には、管理を生み出し、実践する組織風土・文化(作業環境・組織構成・暗黙の規則・慣習・体制)」を配置した。さらに外部には社会環境が存在する。もちろん、これらは下から順に上位に影響を及ぼしているわけではなく、場合によってはバイパスや逆の因果もありうる。ここで重要なのは、組織としてどの階層がもっとも介入しやすいかである。安全意識や風土文化を直接変化させることは難しいため(これは経営層の刷新によってのみ直接変えうる。日産の例を見れば理解できるであろう。)、また、安全意識や行動を直接変化させることも

表1 我が国で最近発生した重大事故の背後要因について

共通な背後要因	①JCO臨界事故	②横浜市大事故	③雪印毒素混入事故	④信楽高原鉄道事故
(1)タイムプレッシャー	・工程を早く進めることに日常的に努力する風土であった ・翌日から新人訓練を最初の工程から実施したかったためその日に作業終了したかった	・朝の忙しい時期であり、病棟看護婦、手術室看護婦とも速やかに患者の準備をする必要があった ・一人の病棟看護婦が2台のストレッチャーを運ぶことに慣れていなかった	・日常的な繁忙感から大阪工場では手抜き、逸脱が起きた	・世界陶芸祭開催中で先方の駅では大勢の乗客が待っていた ・赤信号のままで出発が遅れていた
(2)安全確認	・臨界に達しないことを相談を受けた核燃料主任者は確認しなかった	・手術室看護婦・執刀医の誰もが、患者の氏名を確実に確認しなかった	・細菌数による管理が行われていたため、毒素については確認しないシステムであった ・HACCPが正しく運用されているかチェックされていない	・信号が赤のまま変わらない原因を確認しなかった ・退避線に向かいの列車が到着していない原因を確認できなかった ・手信号による閉塞条件を確認しなかった
(3)規則・手順遵守	・現場優先で手順が変更され、それまでも何度か変更され、裏マニュアルが存在した	・規則・手順は存在していたが、業務を遅らせてまで守られていない	・規則で決められている細菌数を見かけ上減らすため、新たな粉乳と混合した ・大阪工場では裏マニュアル、申請外設備が存在した	・赤信号では列車を出発させないという駅長の制止を課長が振り切った ・列車進行中に信号システムは点検しないという規則が無視された
(4)設備	・厳しい安全審査をパスし、臨界は起きない設備という過信があった		・HACCPに適合した先進的な設備であると過信していた	・信頼性の高い信号システムに対する過信
(5)成功体験	・これまでの手順改定が工程短縮につながった	・日常的に看護婦に過重な負担がかかる業務体制であったが、顕在化した事故は起こっていなかった	・大樹工場では2年前にも同様な細菌増殖事例があり、この場合の措置は問題なかった	・一ヶ月前にも信号機故障があったが、手信号による措置が成功した
(6)会社に損害を与えたくないという意識	・厳しい経営状況の中で工程を短縮しようとしていた		・規定以上の細菌数が検出された乳を廃棄すれば損害になると考えた	・第三セクターの経営は厳しく、この機会に収益をあげようと考えた
(7)コミュニケーション	・職場長、副長との連絡・承認が取られていなかった	・病棟看護婦と手術室看護婦、患者と看護婦・執刀医のコミュニケーションが不足していた	・工場からの対応の問い合わせに支社から特段の指示はなかった	・信号システムの変更について、両者の連絡が取れていなかった ・両者の無線周波数が合わなかった
(8)事業環境	・競争激化・リストラ進行	・看護婦不足	・6年間に渡るリストラが実施されていた	・経営状況は厳しく、慢性的な人手不足
(9)過去の経験の反映		・熊本市民病院などでも患者取り違えが発生していたが、教訓を反映しなかった	・八雲工場で45年前に同様の中毒事故があったが、教育に反映されていなかった	

具体的な実践例はあるものの一般には難しい。したがって、組織として自然に介入できる部分は組織本来の役割であるLEVEL 3の安全管理である。管理を変えることによって、意識や行動を変え、また、組織風土・文化も徐々に変えてゆくことができる。組織風土・文化を幸いにして変えることができれば、それが礎の役割を果たし、多少のことでは揺らがないが、企業環境や経営および構成員の経年的な変化には影響を受ける。特に、事故・トラブルの減少は、安全性向上の意欲に大きく影響するため、劣化しないようにモニタリングすることも重要である。

3. 様々な観点からみた安全文化の重要要因

3.1 過去の重大事故による示唆

最近発生した重大事故の共通点について考えてみる。我が国の様々な産業界で発生した代表的な事例として、①JCO臨界事故（原子力）、②横浜市大患者取違事故（医療）、③雪印食品毒素混入事故（製造）、④信楽高原鉄道衝突事故（交通）、を取り上げた。ここで同定された共通要因を表1に示す⁽¹³⁾。

3.2 事業所の安全診断結果による示唆

組織の安全レベルを評価するための安全診断システムを開発し、これまで電気事業を含む各種の産業界に適用してきた^{(14)~(17)}。この診断は従業員のアンケートに基づき行うものであり、安全レベルの高い事業所の特徴を抽出することができる。表2には、調査対象とした10業種における分析結果を示す。同表には、調査対象事業所の総

合的安全レベルを示す指標（一部の業種では設備災害・労働災害発生率と有意な相関が認められている）への寄与率（因子負荷量）の大きなものから順に、その値の増加により総合的安全レベルが改善する「促進要因」およびその逆の「阻害要因」に分けて呈示した。また、詳細分析では各産業界ごとに、促進要因、阻害要因を抽出した。これらの結果を総合すると、代表的な促進要因としては、①問題点発見・報告のスムーズさ、②問題点への対応・改善のすばやさ、③過去経験の有効な活用、④現場に根ざした安全活動（参加型）が指摘され、阻害要因として、①安全規則の軽視、②スケジュール重視、③指揮命令・計画の不十分さ、④規則や承認のあいまいさ、⑤不都合な情報の隠蔽体質、⑥責任回避など無責任体質が挙げられた。

3.3 安全優良企業の訪問調査など内外の良好事例による示唆

(1)国内の安全優良企業の調査結果

筆者の前職場である電力中央研究所では、国内の安全優良企業のうち、安全関係雑誌や様々なセミナーなどで紹介されている安全優良企業を訪問調査した。このうち、特に、各社が実施しているユニークな安全活動や取り組みを、図3に示すように、「安全文化の実践」として取りまとめて刊行している。このような調査活動は、安全担当者への聞き取りにより行ったが、その共通要因を取りまとめると図4に示すとおりである⁽¹⁸⁾。すなわち、その中心となる活動は、様々な形式による従業員参加型の潜在リスク発見活動およびその周知方策であり、事例分

表2 10業種への安全診断システムを適用した結果に見られた安全上重要な因子⁽¹⁷⁾

総合的な安全レベルの尺度への因子負荷量の大きな因子であり、10業種とは、食料、繊維、化学、輸送機械、鉄鋼、金属製品、一般機械、電気機械、電気業、工事請負業である。

	項 目	因子負荷量
促進要因	上司が作業の前に事故を起こしそうなポイントをチェックしている	0.702
	上司は仕事の計画や進め方について、明確でタイミングのよい指示を与えてくれる	0.644
	過去のトラブル事例が安全活動などに反映されている	0.618
	安全な作業手順や事故への対応について書かれたマニュアルがある	0.564
	規則や手順を忠実に守ることなどの活動が評価されている	0.561
	現場では社員と協力会社との安全・衛生問題に関するコミュニケーションはうまくいっている	0.559
	一緒に働く人たちは、迷ったら作業を止めてでも安全を確保する	0.532
	上司は、計画と結果ばかりでなく、途中経過をチェック・アドバイスしてくれる	0.518
	本社・支社は生産性や安全だけでなく、作業員一人ひとりの問題にも注意を払っている	0.469
	職場の意思決定はスピーディーになされる	0.456
阻害要因	スケジュールがおしよせてくると、作業手順や規則が守られないことが多い	-0.825
	不十分な計画のため、実施に影響が及ぶことがある	-0.819
	時と場合により審査や承認がおろそかになることがある	-0.816
	問題が発生すると責任を転嫁する人が多い	-0.805
	指差し確認や声出し（指差呼称）はもう古いと思う	-0.792
	大丈夫だと自信があるときには規則に従わないこともある	-0.784
	早く作業を終わらせることがいつも頭にある	-0.768
	多少の危険をおかしても、スケジュールに間に合うように作業をしたり、させたりしている	-0.768
	皆が安全規則を守っていないのに自分だけ守るのは馬鹿らしいと思う	-0.763
	暗黙の約束ごと・決まりごとが多い	-0.754



図3 安全優良企業の優れた安全活動や施策を取りまとめた冊子「安全文化の実践」



図4 我が国の安全優良企業の取り組みのまとめ
安全エンジンとしてコミュニケーション、イニシアティブ、インセンティブを重視し、潜在的リスクの発見・除去を活動の中心に据えている⁽¹⁸⁾

析、ヒアリハット報告、安全改善提案などである。また、これに対応するように、発見した潜在リスクの除去方策をとっており、快適職場の追求、提案への素早いフィードバックシステムなどにより、管理者がリーダーシップを取って安全職場の創成を行っている様子が伺える。さらに、注目すべきなのは、これらの諸活動を支える推進方策であり、各事業者とも様々な形で安全活動を支援する組織風土の醸成に努めている。すなわち、推進エンジンとして「双方向のコミュニケーション」、「安全行動へのインセンティブ」および「経営層のイニシアティブ」であり、これらを所長懇談会、事業所ぐるみの地域貢献などにより活発化して職員・管理職・経営層の協調性および一体感を高めながら、安全への取り組みを強化していることである。

(2)米国原子力プラントの良好事例⁽¹⁹⁾

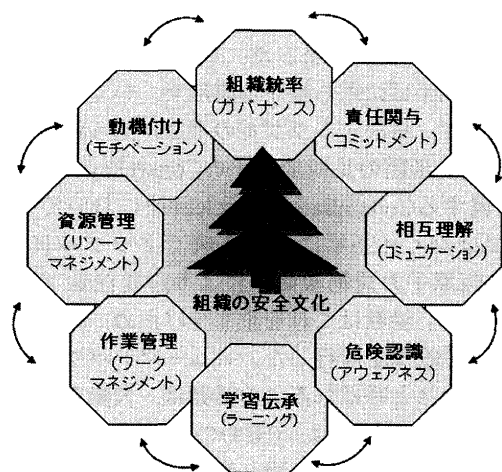
米国では、1980年代後半からの電力自由化による発電

電分離などの政策により、急速に電力各社のコストダウンが進められることとなった。当初は順調に推移したが、1990年代半ばに差し掛かる段階で、いくつかの電力会社において、事故・トラブルの増加が見られるようになってきた。米国の比較的大手のConstellation Energy Groupに属するConstellation Nuclear社においても、この例外ではなく1995年には引き続きトラブルにより、NRC（米国原子力規制機関）により、要注意プラントに指定された。同社はこれを重く受け止め、副社長を中心とする安全改革を断行した。ヒューマンパフォーマンス向上プロセスと呼ばれるこの活動は、大変な成功を収め、4年後の1999年には、INPOの優秀プラントに指定されるまでに至った。この取り組みは思わぬ副産物を生じた。すなわち、安全への傾注および高品質への改善活動は、生産性の向上をもたらしただけでなく、職員の満足度を大いに向上させたことである。PSEG Nuclear社、Detroit Edison社においても同様の取り組みがなされ、いずれも成功裏に継続されている。このような取り組みの共通点を概観すると、①経営陣の関与による統合プログラムと経営層のイニシアティブ、②計画と実績の差異の追求と次回計画への反映、③様々なメディアを駆使したコミュニケーションの活発化、④作業前のリスク周知、⑤個人のスキルと知識の向上、⑥安全上の貢献者への即時の奨励、⑦計画が順調に行っていることの監査・組織評価、などに集約される。また、2001年には、NEI（Nuclear Energy Institute）が、全米の主要なプラントの運転保守コストとヒューマンパフォーマンスの良好度（安全レベル）の関係を調査した結果、ヒューマンパフォーマンスの良好なプラントはむしろ、運転保守費が低い傾向にあることが実証され、現在このヒューマンパフォーマンス向上への取り組みを行っているプラントは数十に達している。

4. 安全文化における重要要因のまとめと対応戦略

4.1 重要要因のまとめ

これまで、①過去の研究、②過去の組織事故の共通要因、③各種事業所の安全診断結果、④安全優良企業の訪問調査などによる内外のGood Practice（良好事例）、の観点から安全文化の重要要因を抽出してきた。これら既存の研究や実践例を総括しながら、安全文化を構成する主要な要因について議論した結果、図5に示すとおり、安全文化の構成要素が概ね以下の8軸に集約されることがわかった。すなわち、内部統率（ガバナンス）、責任関与（コミットメント）、相互理解（コミュニケーション）、危険認知（アウェアネス）、学習伝承（ラーニング）、作業管理（ワークプラクティス）、資源管理（リソースマネジメント）、動機付け（モチベーション）である。これらは、事故を起こしにくい組織文化を創造するために必要な視点であり、目に見えない暗黙の規範、価値観を含むものである。また、この8軸はどのような



※8軸は隣接する軸同士の関連が深い、他の軸とも密接に係わっている。

図5 過去の優良企業研究、既存事故の根本原因分析、企業の安全診断結果から集約した安全文化の8つの軸

組織であっても不可欠な要素であり、これらの機能が安全に向けられることによって安全重視の価値観が共有され则认为している。表3には、3章にて抽出した様々な観点からの安全文化に関連する要因のうち、今後、組織としての改善を行うべき軸として抽出したコミットメント（参画）、コミュニケーション（相互理解）、モチベーション（動機付け）、アウェアネス（危険認識）、リソースマネジメント（資源管理）の5つの視点で整理した結果を示す。

4.2 安全文化醸成に向けた戦略

(1)個人・チーム・組織という視点

安全文化を浸透させ、組織に根付かせるためには、経営層、管理層、および従業員までその重要性を認識し、自ら行動する「コミットメント」が重要であり、このためには、強力な「モチベーション」が必要である。しかしながら、事故やトラブルが減少している昨今では、事

表3 5つの視点で見た組織の安全文化における重要な要因

-経営層・管理層・従業員層別に見た促進要因・阻害要因のまとめ

視 点	安全文化の重要要因（○促進要因、●阻害要因）		
対 象	経営層	管理層	従業員層
コミットメント	○安全重視の発言・積極的取り組み姿勢のアピール ○安全プログラムの主導 ○安全部門の重視 ○従業員活動支援	○意思決定のすばやさ ○民主的リーダーシップ ○問題点へのすばやい対応 ○手順・規則遵守の奨励 ○問題点チェック・多角的検討	○安全活動への積極的な関与 ○小集団活動への積極的な参加 ●スケジュール重視の姿勢
コミュニケーション	○現場とのコミュニケーション（公式・非公式） ○経営方針の説明 ○組織内での情報伝達の促進 ○組織間での情報伝達の促進 ○部門間での協調・連携（セクショナリズムの排除）	○指揮命令的確さ ○問題点共有の話し合い ○タイミングのよい指示・アドバイス ○規則違反への厳しい態度 ○リスク情報の社内共有 ○報告に対するすばやいフィードバック ○安全リーダーの設置 ○マルチメディア活用による情報共有 ●暗黙の了解・あうんの呼吸 ●責任転嫁の姿勢	○不都合情報を報告する姿勢 ○協力会社との連携・協調 ○他部門との日常的な接触 ○安全問題での討論 ○上司への報告・連絡・相談 ○日常的なコミュニケーションの活発化 ○会社外でのつきあい
モチベーション	○表彰・報酬・名誉付与 ○能力・業務の正当な評価 ●過度な規制	○新たな課題への挑戦 ○職場内での名誉付与 ○奨励・激励 ○個人的問題への対処 ○クリーンで快適な作業環境	○業務能力・技能の伸長 ○良好な人間関係 ○適正な能力・業務評価の認識
アウェアネス	○現場の問題点の把握 ○組織の安全レベルの評価・監査	○作業前のリスク抽出・認識・対策（情報システム） ○作業の標準化 ○作業規則の見直し・徹底 ○安全行動・不安全行動の明確化 ○計画と実績の差異の原因追求と反映 ○異常時への対応マニュアル ○過去経験の反映 ●前例主義	○危険認識 ○危険箇所の抽出 ○安全優先の態度 ○規則遵守の姿勢 ○安全確認の習慣化 ○トラブル調査への積極的関与 ●成功体験への依存
リソースマネジメント	○責任・権限の委譲 ○適正な人員配置（役割分担明確化） ○予算の重要度に応じた適正な配分 ○安全担当の重視 ○組織階層のフラット化 ●過度なリストラ ●必要事項のコスト削減姿勢 ●規制対応の煩雑化	○訓練・教育（実務適合） ○業務の適正な配分 ○設備のフェールセーフ化・フルプルーフ化	●勤務超過の継続

故が発生することへの恐れをモチベーションとするのでは、マイナス思考に陥いる。したがって、安全性向上への取り組みを日常化し、それを業務の不可欠な一部として粛々と実行していくシステムとする必要がある。つまり、業務の一部として安全への取り組み姿勢・貢献・実施内容をきちんと評価することにより、始めてモチベーションが維持されるのである。また、業務としての安全性向上への取り組みは、全員で共有して遂行しなければならないため、「コミュニケーション」は不可欠である。すなわち、作業に係わる的確な指示と事前の注意点の教示などの危険予知（KY）、作業の段取りや進め方を打ち合わせるツール・ボックス・ミーティング（TBM）、熟練作業員によるOJT、ダブルチェックなどのチームとしてのコミュニケーションにより多くのエラーが防がれているのが現実である。それでは、安全性を向上するための核となる活動は何かという点、安全優良企業の調査結果に端的に示されているように、職場や業務に潜んでいる潜在リスクを発見・抽出して、それを極力排除していく、あるいは、排除できないものは、作業前に作業員に周知して危険を認識させるなどの対策を講じることである。すなわち、「アウェアネス」（危険感受性）を高めることである。このような活動を積極的に推進するには、経営層、管理層のコミットメントも重要ではあるが、適正な「リソースマネジメント」も不可欠である。通常業務を終えるのに精一杯な状況では、安全性向上への取り組みは二の次になることもやむを得ないし、安全対策の実施や教育・訓練には、人・物・金のリソースが必要になる。すなわち、組織は、理解しやすい手順書、作業環境の整備、設備に対するフェールセーフやフールプルーフによるエラー排除の仕組み、作業規則などの教育・訓練などリソースの投入が不可欠になる。安全施策や活動もただ制定するだけでは機能せず、いかに個々の従業員の意識に浸透させるかが重要である。例えば、化学産業界では、トータル・プロダクティブ・メインテナンス（TPM）を実施し、全員参加の原則の下、それぞれの生産部署における現場の特徴に合致した各種の小集団活動を実施している。これは、活動への動機付けは経営層がおこなうものの、具体的な実施事項はそれぞれの現場におけるチームで主体的に考えて実践するという方法を取り入れている。このように、十分な安全意識を従業員に付与するには、トップダウンにて、安全宣言や規定・規則、実施要領を示すことにより、全社で取り組む積極的な姿勢をアピールし、各職場の課単位、あるいは班単位で具体的な実施内容を検討し、従業員の参加を得て活動を推進する。そして、取り組みがうまく軌道に乗ってくれば、従業員の意識もあがり、さらに、ボトムアップにより、自主的に工夫した安全活動を提案し、実践していくというサイクルを完成することが重要である。安全活動はマンネリ化しやすいので、このようなボトムアップによる活動は長続きさせるために特に重要である。さら

に、組織の経営層は自主的な安全活動を支援するためにも、優れた活動や効果のあった活動を表彰し、さらなるモチベーションを付与することも忘れてはならない。

(2)安全文化の目標の具体化という視点

安全文化という言葉は感覚的には理解できても、どのように醸成していけばよいか、その方向性や具体的手段については必ずしも明確ではないため、掛け声ばかりで内容が伴わないということもある。2.1節で述べたとおり、安全文化研究の第一人者である英国のリーズンは、安全文化とは、「…組織は恐れを忘れず、努力し続けることだ…」と述べ⁽⁴⁾、仮に安全文化が成熟した状態に到達できたとしても、努力を中断した時点で途切れてしまう危険性をはらんでいると指摘している。企業および個人が持つ生産性（効率）重視の姿勢は、「安全性と生産性のバランス」に影響を与える。すなわち生産性と安全性を秤にかけた場合、生産性は日常的にすべての人が関心を向ける、一方、安全性は「事故が起こってから始めて意識され、しかも、その事故もめったに起こらない」という不利な状況が存在する。したがって、バランスを回復するために、組織としての安全性向上へのサポートが必要不可欠である。この意味で、経営層の安全性強化に対する「コミットメント」および「モチベーション」の付与は必須である。

それでは、組織としての努力は具体的にどのような手段によるべきであろうか。これは、前節で述べたとおり、潜在リスクのあらゆる手段・機会を捉えた抽出・除去であり、問いかけパトロール、一声かけ運動、ヒアリング事例収集、気付き・気がかり運動、グレーゾーン発見（デジカメで危険と感じた箇所を撮影し掲示し、賛同すれば署名）などであり、安全文化醸成への努力は潜在リスクの抽出とその対応を日常的に実施していくという目標と等価であると考えられる。

このような取り組みでもっとも先進的方法は、「フィードバック型リスクアセスメント」であり、その概要を紹介する。すなわち、件名作業ごと、設備ごとに、徹底して潜在リスクを抽出し、抽出した潜在リスクをデータベース化し、事業所の安全対策の優先順位、作業計画時の安全対策仕様、日々のKY活動などに反映していこうというものである。この手法の特徴は、潜在的リスクとして労働災害、設備災害、環境災害および業務災害のすべての潜在リスクを抽出していくことであり、さらに、リスクアセスメントを行った結果をハード・ソフトシステムの改善ばかりでなく、日常的な業務にフィードバックすることである。もう一つの長所は、これまで、一過性かつ繰り返しの多かった安全活動に対し、実施結果を蓄積することが可能となることである。技術伝承では作業のノウハウを伝承していくことも必要であるが、このようなリスク情報も併せて伝承していくことが求められる。

(3)安全レベルの可視化という観点

自らの事業所の安全性向上を考える場合、「安全レベルが見えない」ことが、様々な安全活動や施策を強化しようとする場合に障害となることがある。すなわち、労働災害はそれほど頻繁に起こらないので、事故防止の重要性は理解できるものの、安全活動に多大な時間・人をつぎ込んで実施する意味を従業員に納得してもらうことが難しい。事業所における休業災害などの労災発生率は年間多いところでも数件、多の事業所ではゼロという状況では従業員がそれほど重大性を感じないのもしかたがない。そこで、「安全レベルを目に見えるものとする」ことを目標として、10年ほど前から、電力中央研究所では、組織としての「安全診断システム」の開発と実用化を進めてきた。また、図1に示した防護層の健全性を常にモニタリングして、チェックするためにもこの診断システムは有効である⁽¹³⁾⁻⁽¹⁸⁾。

5. おわりに

安全文化について、経緯や背景について概観し、①既存の安全文化研究、②過去の組織事故の共通要因、③各種事業所の安全診断結果、④安全優良企業の訪問調査などによる内外のGood Practice（良好事例）の観点からその重要な要因について検討した。その結果、これらの要因を、コミットメント（参画）、コミュニケーション（情報授受）、モチベーション（動機づけ）、アウェアネス（危険認識）、リソースマネジメント（資源管理）の5つのカテゴリーに分類した。重要要因を認識し、組織における安全文化を醸成するためには、経営層、管理層、従業員層のそれぞれが、安全性向上に向けた努力を継続することが必要であり、そのために管理から介入することで、意識、風土、文化を変え、最終的には、個人の行動を変えていくことが望まれる。具体的には、潜在リスクを発見し、除去する活動を業務の一部として実施し、組織学習をすすめていくことであり、そのための環境を5つの視点により、整えていくことである。これを解消するための手段として、リスクアセスメント、安全診断などのツールが有効であり、少しでもこの内容が貴事業所の安全性向上に役立てば幸いである。

参考文献

- (1) International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG) (1986) Summary report on the post-accident review meeting on the Chernobyl accident, Safety Series No.75 INSAG-1, IAEA, Vienna.
- (2) International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG) (1991) Safety culture, Safety Series No.75 INSAG-4, IAEA, Vienna.
- (3) 高野研一. 組織事故としてのJCO臨界事故と再発防止, 安全工学 vol.39, No.4, 2000
- (4) Reason, J. Managing the risk of organizational accidents. Ashgate, Aldershot, 1997 (邦訳: 組織事故,

塩見監修, 高野・佐相訳 日科技連出版社, 1999)

- (5) Booth, R. (1993) Safety culture: concept, measurement, and training implications, Proceedings of British Health and Safety Society Spring Conference: Safety Culture and the Management of Risk, 19-20. April.
- (6) Zohar, D. "Safety Climate in Industrial Organizations: Theoretical and Applied Implications", J. Applied Psychology, 65, 1, 1980, pp. 96-102
- (7) Diaz, R. I. and Cabrera, D.D. "Safety Climate and Attitude as Evaluation Measures of Organizational Safety", Accid. Anal. and Prev., 29, 1997, pp. 643-650
- (8) Haber, S.B. Shurberg, D.A. and Barriere, M. T. and Hall, H. E. "The Nuclear Organization and Management Analysis Concept Methodology: Four Years Later: IEEE 5th Conf. Human Factors and Power Plants, Monterey, CA, 1992, pp. 389-393
- (9) Rochlin, G. & Ron Meier, A. (1994) Nuclear power operation: A cross-cultural perspective, Annual Review of energy and the Environment, 19, 153-187.
- (10) Semmer, N. & Regenass, A. (1998) Situational assessment of safety culture. In J. Misumi, B. Wilpert, & R. Miller (eds.), Nuclear safety: A human factor perspective, Taylor and Francis: London.
- (11) Schein, E. H. 「キャリア・ダイナミクス」(1981) 二村敏子・三善勝代(訳) 白桃書房 Schein, E.H. (1980) Career dynamics: Matching individual and organizational needs. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- (12) 長谷川尚子, 高野研一. 安全文化醸成への新たなアプローチー原子力産業界における各国の研究動向および今後の方向性ー, 電力中央研究所 研究報告S00007, 2001
- (13) 高野研一. 装置産業界におけるヒューマンエラーの実相, Human Interface, vol.4, No.1, 2002.
- (14) 高野研一, 津下忠史, 長谷川尚子, 廣瀬文子, 佐相邦英. 意識面・組織面からみた安全診断システムの構築(その1), 電力中央研究所 研究報告S01002, 2002
- (15) 廣瀬文子, 長谷川尚子, 津下忠史, 佐相邦英, 高野研一. 組織面・意識面から見た安全診断システムの構築(その2) 安全診断手法妥当性検討のためのケーススタディー, 電力中央研究所 報告S01003, 2001
- (16) 佐相邦英, 長谷川尚子, 廣瀬文子, 津下忠史, 早瀬賢一, 高野研一. 意識面・組織面からみた安全診断システムの構築(その3): 技術系企業への適用上のknow-howについて, 電力中央研究所 報告S02001, 2003
- (17) 長谷川尚子, 廣瀬文子, 早瀬賢一, 佐相邦英, 高野研一. 組織面・意識面から見た安全診断システムの構築(その5) 電力業界以外の産業への適用性の検討. 電力中央研究所 報告S03002, 2004
- (18) 長谷川尚子, 廣瀬文子, 小島三弘, 高野研一. 職場における安全風土(文化)醸成に関するシステム構築の研究について. 電力中央研究所 依頼報告S99502, 2000.
- (19) 弘津裕子. 米国原子力産業界におけるヒューマン・パフォーマンス向上に関する動向. 電力中央研究所 調査報告S01301, 2002

特集：原子力発電所における安全・安心

PBMRでのヘリウムガスタービンの取り組み

宇摩谷雅英^{*1}
UMAYA Masahide廣田 耕一^{*2}
HIROTA Koichi加藤 誠^{*3}
KATO Makoto杼谷 直人^{*4}
TOCHITANI Naoto

キーワード：PBMR, Modular Reactor, Closed Cycle, Brayton Cycle, Direct Cycle, Helium Gas Turbine, High Temperature Gas Reactor, Pebble Bed

1. はじめに

南アフリカ共和国（南ア）は豊富な資源を背景に、近年めざましい経済成長を遂げている。そのため、エネルギー需要も増大し、電力不足が喫緊の課題となってきた。これに対し、南ア政府は地球環境に対する配慮も踏まえ、原子力発電の推進に大きな期待を寄せている。この推進に当たっては、自主技術開発を目指し、ドイツの高温ガス炉技術を導入し、自国の優秀な人材を活用して小型・安全であるPBMR（Pebble Bed Modular Reactor）と呼ばれる高温ガス炉の開発を進めている。主力電源を石炭火力に頼ってきた南アフリカでは、内陸の産炭地と電源需要地が離れていることや、送電網が十分整備されていないことから、分散型電源である同炉の開発に対して、南ア政府も強力なバックアップを行っている。

PBMRを開発しているのは1999年に設立された国策的エンジニアリング会社であるPBMR社で、同社からの発注を受けて各国のメーカーが主要機器を供給することにな

る。中でも三菱重工は最も重要な機器であるタービン発電機システム並びに炉心槽の開発に携わっており、南ア関係者から多くの場で戦略的パートナーとして第一に名を挙げられてきた。タービン発電機システムにおいては、現在詳細設計を実施し、製作にとりかかっているところである。

2. PBMRシステムの概要

2.1 原子炉・燃料

PBMRは独自の安全特性と優れた熱効率を兼ね備えた次世代原子力発電プラントであり、ドイツで運転実績のある発電用高温ガス炉AVR（実験炉）やTHTR-300（原型炉）などの技術を基にしている。その大きな特徴はペブルと呼ばれる球状燃料を用いること、直接ガスタービンサイクルを構成していること等である。

PBMRの原子炉主要仕様を表1に示す。

表1 原子炉主要仕様

熱出力/電気出力	400MWt/165MWe
効率	>40%
原子炉出口/入口温度	約900℃/約500℃
原子炉圧力	約9 MPa
濃縮度	約9.6%
燃焼度	約92000MWd/t
燃料交換	連続式

(1)ペブル燃料

PBMRの燃料物質はウラン酸化物であり、これに多孔質カーボンや炭化ケイ素等のセラミックスを3層被覆して被覆粒子燃料とする。約15000個の被覆粒子燃料を黒鉛で覆い、テニスボール大に固めた燃料球がペブル球である。PBMRの被覆粒子は万一の事故時にも核分裂生成物を被覆の中に閉じ込めることができるという優れた格納特性を有している。ペブル燃料の概念を図1に示す。

(2)燃料交換方式

PBMRの炉心は約450000個強の燃料球により構成され、黒鉛構造物で囲まれている。中心部にも黒鉛構造物があり、燃料球は黒鉛構造物で形成される環状空間に装荷される。炉心と黒鉛構造物全体を炉心槽で支持し、この炉心槽を原子炉圧力容器に収納している。燃料を球状にすることにより運転時において原子炉圧力容器上部から装荷し、燃焼した燃料球を原子炉圧力容器下部から排出さ

原稿受付 2008年9月22日

- *1 三菱重工業(株) 原動機事業本部 蒸気タービン統括技術部
〒676-8686 高砂市荒井町新浜2-1-1
- *2 三菱重工業(株) 原子力事業本部 原子力技術センター
原子力技術部
- *3 三菱重工業(株) 高砂製作所 プラント技術部
原子力プラント設計課
- *4 三菱重工業(株) 原動機事業本部 蒸気タービン統括技術部
タービン開発グループ

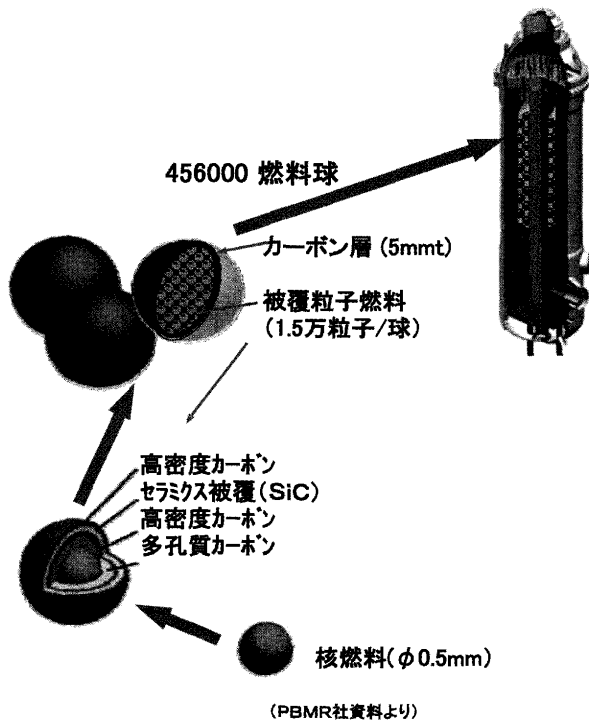


図1 ペブル燃料

せることができるため、運転中の燃料交換が行えるという特長を有している。使用済燃料は再処理を行わず、サイト内に長期間保管する計画となっている。

2.2 PBMRシステム

PBMRは核反応により冷却材であるヘリウムを高温にし、このヘリウムによって直接タービンの回転動力を得る閉ブレイトンサイクルを構成している。ヘリウムは化学的に安定で放射化せず、高い熱特性を有していることから、燃料の放射性物質格納機能と相俟って高いシステム安全性を有した原子炉システムを構成することができる。

PBMRシステムでは、図2の温度-エントロピー線図(T-S線図)に示す通り、熱サイクル効率の向上のため、

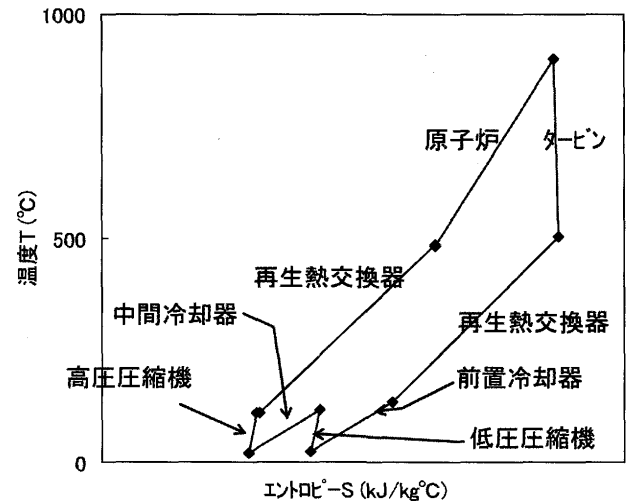


図2 PBMRシステムT-S線図

中間冷却と再生サイクルを採用している。すなわち、原子炉出口で約9 MPa×900°Cのヘリウムガスは、タービンで約3 MPaまで膨張して仕事をした後、約500°Cで排気され、その排気ガスのエネルギーの一部は、再生器で原子炉に戻るヘリウムガスを加熱することで、熱回収を図ると共に、更に前置き冷却器で低温熱源に熱を捨てて(約25°Cとなる)閉サイクルを構成している。前置冷却器後の約3 MPa×25°Cヘリウムガスは、低圧圧縮機、および、高圧圧縮機で約9 MPaまで昇圧し、更に再生器で約500°Cまで加熱されて原子炉へ戻る。低圧、及び高圧圧縮機の間には、中間冷却器を設置し、熱効率の向上を図っている。

2.3 既存サイクルとの比較

PBMRシステムは、原子力エネルギーを利用する点では、既存の軽水炉発電システムと、また、ブレイトンサイクルを構成することでは、既存のガスタービンコンバインド発電システムと比較することになる。その比較を表2に示すが、PBMRシステムの狙うところは、①発電

表2 既存発電システムとの比較

	PBMRシステム	加圧水型軽水炉発電システム	コンバインドサイクル
主なシステム構成	原子炉、ヘリウムガスタービン、圧縮機、再生器、冷却器、発電機	原子炉、原子炉安全系設備、蒸気発生器、蒸気タービン、再熱器、給水加熱器、復水器、ポンプ、発電機	燃料供給設備、ガスタービン排熱回収ボイラー、蒸気タービン、復水器、ポンプ、発電機
送電端効率	約40%	約35%	約50%
高温熱源温度	約900°C	約300°C	約1500°C
比較	既存軽水炉より熱効率が高い	熱効率が比較的低い	熱効率が原子力発電に比べ高い
	運転中でも燃料の交換が可能で稼働率を高くできる	原子燃料交換のため、約1年毎に定期検査が必要	最高温度で使用する為、数年毎の高温部品の交換が必要
	発電に伴うCO ₂ 排出はない	発電に伴うCO ₂ 排出はない	化石燃料を利用し、CO ₂ を排出
	原子炉側の安全系機器も最小で、機器の構成数が他のシステムに比べて少ない。分散型に向く	原子炉側の安全系機器も必要になり、機器の構成数が多い。大容量ユニットが主流となっている	機器の構成数はPBMRより多いが、原子力発電に比べれば、シンプル
	高温熱源を利用でき、発電以外の用途にも利用可(水素製造等)	高温熱源温度が低いので、用途が限定される	熱併給にも柔軟に対応できる

に伴うCO₂の排出が最小限で地球温暖化防止のニーズに応えられる、②既存の軽水炉に比べ、高温熱源を利用し、かつ、燃料が連続交換可能であることより、熱効率、設備利用率の点で、原子力エネルギーをより有効利用できる、③システムの構成要素が最小限で分散型の立地条件にも対応できる、等の点があげられる。また、高温熱源が得られることより、発電用以外の用途にも利用できることが期待されている。

3. ヘリウムガスタービンの設計方針

3.1 基本方針

1次冷却材循環系の中で、大型回転機械を高温条件下で直接運転する例は、世界的にも初めてである。適用する設計基準の検討、開発要素の抽出から、試運転・保守に至るまで初期段階から技術検討を実施すると共に、実際のプロジェクト業務では、予め定めた品質プログラムに従い、信頼性第一で推進している。また、設計条件としては、表3に示す通り、原子系特有の設計条件とヘリウムガスの物性にも考慮する必要がある。

一方、タービンの設計パラメータとして、PBMRシステムの熱サイクル条件を既存の主要発電システムと比較して、表4に示す。PBMRシステムの原子炉出口ヘリウムガス圧力×温度は、9MPa×900℃で、作動ガスの圧力、温度は、既存のガスタービンと蒸気タービンとの中間になる。つまり、高温技術としては、既に実績のある1500℃級のガスタービン技術を応用することで、また、

表3 PBMRヘリウムガスタービンの基本要素事項

区分	基本要素事項
信頼性第一	・開発から試運転・保守に至る一貫した試験、検証プログラムの事前確立と実行 ・確立された既存技術の最大限適用
システム全体統合	・保守時には、被曝の影響もあることを考慮した分解容易な配置、構造設計 ・原子炉からの大口径配管との最適な取合 ・原子力压力容器としてのタービン外部車室設計 ・閉サイクルとして、原子炉系と協調した信頼性の高い運転・制御性の確立
ヘリウムガス環境	・空気等との物性差を考慮した最適な空力設計 ・既存材料の適用性の確認 ・酸化皮膜の成長が遅く材料の摩耗、摩擦特性への配慮が必要 ・気密性の確保

表4 タービン廻り設計条件の比較

		PBMR He ガスタービン	ガスタービン	超々臨界圧 蒸気タービン	原子力蒸気 タービン
タービン 入口圧力	MPa	約8.5	約2	25	6.5
タービン 入口温度	℃	900	1500	600	約300
タービン 出口圧力	MPa	約3	大気圧	真空	真空
作動流体		Heガス	空気	蒸気	蒸気
回転数	rpm	6000	3000, 3600	3000, 3600	1500, 1800

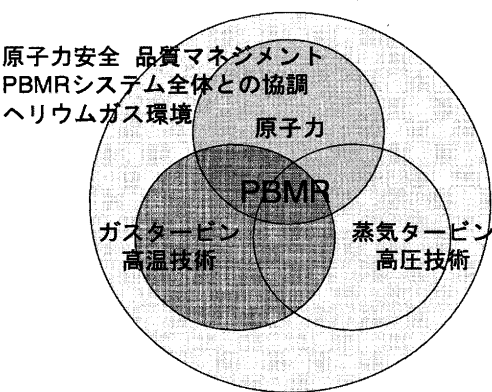


図3 PBMRシステムに要求される基本要素

高温技術としては、既に実績のある25MPa級の超々臨界圧蒸気タービンの技術を応用することで、基本的には、設計できることになる。すなわち、図3に示す通り、原子力安全を第一とする信頼性の高い品質プログラムの上に、既存技術を高度に組合せながら、PBMRシステム全体として最適になるよう、開発設計、検証、製造を推進しているところである。

3.2 設計コンセプト

従来、高温ガス炉用のガスタービンの設計コンセプトとして、文献等を通して、種々の提案がなされている。PBMRヘリウムガスタービンの設計コンセプトについて、これら代表コンセプトと比較して、以下に述べる（表5参照）。

まず、軸の配置であるが、原子炉系建屋の平面面積を最小限にし、かつ、高温配管の引き廻しを最小限にするためには、横型より縦型の方が有利である。PBMRシステムでも当初縦型の案も考慮されたが、発電機までを含めて縦型にするのは、スラスト軸受の負担が余りにも大きく、既存設計の横型が最終採用された。

次に、原子炉からのヘリウムガスを直接利用することから、原子力压力容器としての気密性を考慮した場合、軸受型式として磁気軸受を採用し、軸全体を压力容器内に収めて設計すれば、軸貫通部がなくなり有利である。PBMRシステムでも当初磁気軸受の採用も検討したが、大型磁気軸受の開発が必要になること、磁気軸受用のケーブルによって压力容器貫通部数がむしろ増加することより、軸貫通部にドライガスシールを設置して、軸受は従来の油軸受を採用することとした。

さらに回転数については、6000rpmとして、極力タービン、圧縮機の段数を削減すると共に、翼列パスの径を低く抑えて、翼の高さを空力的に十分確保できるよう、配慮した。これは、表6に示す通り、ヘリウムガスの物性からくるもので、ヘリウムガスは、空気や蒸気に比べて単位質量当たりの定圧比熱が大きく、同じ温度落差で作動させるためには、翼列の段数が増加する方向であることと、ヘリウムガスを最高9MPaで作動させる

表5 高温ガス炉タービンの代表的な設計コンセプト

項目	PBMRシステム	別コンセプト1	別コンセプト2
軸系の配置	横型	縦型	横型
軸受形式	油軸受（軸受は圧力バウンダリーの外）	磁気軸受（軸受は圧力バウンダリーの内）	同左
回転数	減速ギヤを設置してタービン・圧縮機の回転数を上げて設計	発電機と直結	発電機と直結
コンセプト図	圧縮機 タービン 発電機 △ 軸受 ■ 圧力バウンダリー	発電機 タービン 圧縮機 △ 軸受 ■ 圧力バウンダリー	圧縮機 タービン 発電機 △ 軸受 ■ 圧力バウンダリー

表6 ヘリウムガスの物性比較

	PBMRタービン	ガスタービン	超々臨界圧蒸気タービン
定圧比熱 (単位質量あたり)	Base	0.23	0.56
体積流量	Base (圧縮機出口)	3.0 (圧縮機出口)	0.32 (タービン入口)
熱伝導率 (タービン入口条件にて)	Base	0.22	0.26

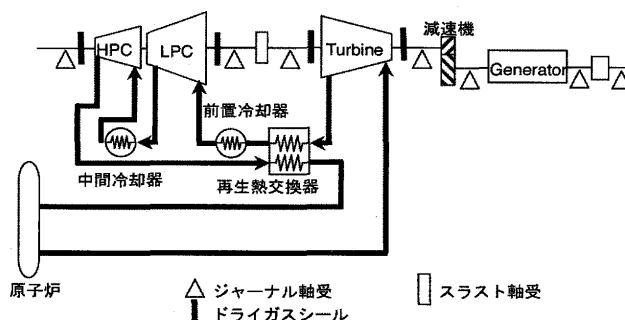


図4 軸系構成図

ため、高圧圧縮機出口の体積流量が小さくなることに配慮したものである。この為、2極発電機と結合するために、タービンと発電機間に減速機を設置している。減速機の仕様を変えることで、タービン・圧縮機は、50Hz、60Hz地区共に、同一設計が可能となる。

この他、ヘリウムガスの物性に起因して、設計上、次の点も注意する必要がある。すなわち、熱伝導率も高く、この結果、熱伝達率も高くなり、高温設計上、配慮が必要になる。また、配管の引き廻しに関して、蒸気タービンと比較した場合、体積流量が大きく、配管が大口径化する。

4. 構造と特徴

4.1 全体レイアウト

既存技術の延長線上で信頼性の高い設計とする観点より、横型一軸設計を採用した（図4参照）。つまり、圧縮機、タービンを一軸でつなぎ、減速機を介して発電機に動力を伝達する構成とした。またタービンからの伝達動力を分担するため、圧縮機-タービン-減速ギア-発電機という配置とした。

さらに原子炉からの大口径配管の引き回しやタービン排気、圧縮機廻りの大口径配管の簡素化の観点、およびタービン圧縮機間のスラスト荷重を圧縮側に作用させる観点より、タービン入口、圧縮機入口を発電機側に配置した。軸受は各車室端に設置し、スラスト軸受は伸び差が有利となるタービン-圧縮機間に設置した。また、保守性および全体配置を考慮して、主要な大型配管はすべて車室下半側で取り合っている（図5参照）。

4.2 外部車室、軸貫通部

タービン入口には塞止弁はなく、原子炉と直接つながっているため、タービンおよび圧縮機外部車室には原子力压力容器基準（ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sec III）が適用される。外部車室は分解、保守性に優れた水平分割型を採用する。高圧のヘリウムガスに対して、水平継ぎ手面には高い機密性が要求される。またタービン、圧縮機外部車室両端の軸貫通部には、ヘリウムガスのシール方式として実績のあるドライガスシールを採用する。ドライガスシールは非接触式のメニカルシールであり、一体リング構造のカートリッジを外部車室に固定する。ドライガスシールの組立、分解が可能のようにシャフトを結合させるカップリングは油圧締め構造を採用し、ドライガスシール自体を軸方向に挿入、分解することが出来る。

4.3 タービン

タービンは二重車室構造を採用し、翼列を含む高温部を内部車室で閉じ込め、その外部を低温のヘリウムガスで外圧設計する構造となっている。高温部の被曝の観点よりメンテナンス時には、外部車室を開放して、ロータも含めた内部車室一式を入れ替える方式が取られる。

タービンロータは多段のタービンディスクと両側のシャフトを連結ボルトで結合させた構造を採用する。またロータ内部はタービン入口部より冷却ガスを導入し、各段の翼溝部分を冷却し、ロータ表面は、冷却ガスを

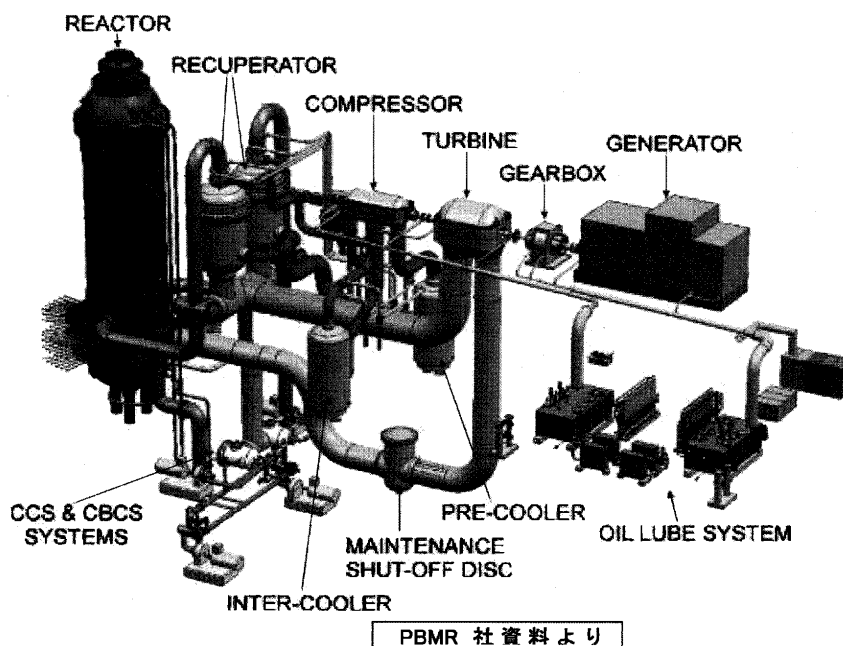


図5 全体鳥瞰図

タービン外部より導入し静翼のインサートホールを介してロータ表面を冷却している。このためタービン外部車室には冷却用の配管と流量調整のための、調整弁が設置されている。通常の高スタービンに比べ段数が多いこと、また構造上圧縮機抽気を取り出しが多段に出来ないため、性能面での影響が大きく、冷却ガス量の低減が重要な要素となっている。

4.4 圧縮機

圧縮機は低圧圧縮機（LPC）と高圧圧縮機（HPC）からなり、1つの車室内に配置している。圧力比は約3で、中間冷却器を設置するため出口温度は最高でも120℃程度となる。圧縮機の入口、出口の大口径配管は保守性や配置を考慮して、すべて車室下半で接続されている。配管入口から翼列入口までの導入部分、および翼列出口から出口配管までのデフューザ部分は圧力損失が小さくかつ、周方向の分布による翼強度への影響がないように配慮されている。使用温度は比較的低いため、圧縮機ロータには一体型低合金鋼ロータを採用している。

4.5 減速機、発電機

減速機は遊星歯車を有した構造で、回転数を1/2に減速して発電機に動力を伝達する。減速機内部は負圧に制御され、潤滑油は別置きタービン、圧縮機軸受と同じ潤滑油設備より供給される。発電機は実績のある空冷式を採用している。

5. 運転・制御

PBMRの概略系統図を図6に示す。

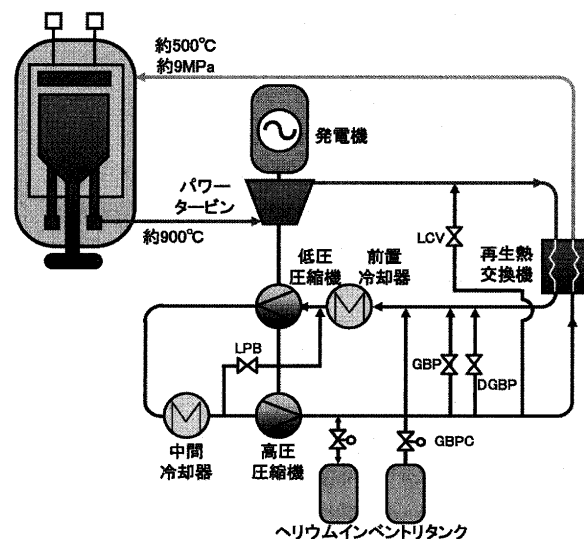


図6 PBMR概略系統図

5.1 起動停止要領

起動時には、原子炉出口のヘリウム圧力／温度を2 MPa / 300℃とし、発電機をSFCにて駆動してパワータービンと高圧・低圧の圧縮機を回転上昇させる。定格回転数で発電機を併入した後、原子炉出口温度を定格温度：900℃まで徐々に上昇させる。この温度上昇過程で発電機はモータリングから発電へ移行する。900℃に到達すると最低安定負荷となる。尚、この過程で原子炉安定運転の必要性から若干ヘリウム圧力を2 MPaより上昇する計画となっている。停止時は、基本的に起動時の逆手順となり、原子炉出口のヘリウム圧力／温度を2 MPa / 300℃として発電機を解列する。

5.2 負荷上昇・負荷降下

最低安定負荷と定格負荷との間の負荷調整は、ヘリウ

ム圧力を上昇・降下する事により実施する。具体的にはヘリウムインベントリータンクよりヘリウムを系統内に供給する事により系統内圧力を上昇して負荷上昇し、逆に系統内のヘリウムをタンクに抜く事により系統内圧力を降下して負荷降下する。この間、原子炉出口の温度は定格温度：900℃に安定的に維持される。

5.3 圧縮機のサージ制御

圧縮機が万一サージラインに近付いた場合には、圧縮機がサージに入らないよう、各種の圧縮機バイパス弁を自動的に開して圧縮機の昇圧比を低減し、サージ裕度を確保するような系統構成・制御としている。

5.4 トリップ時の回転降下

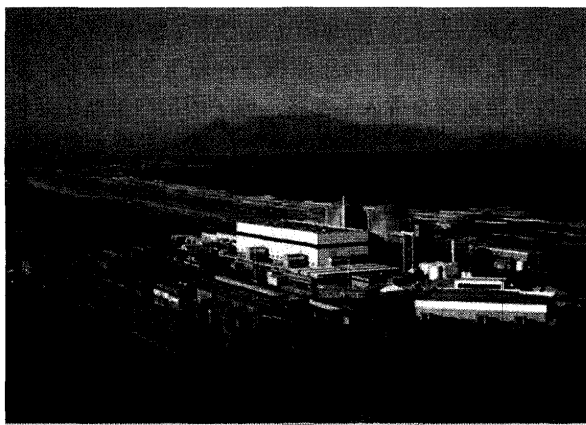
万一のトリップ時には、GBP弁を自動的に開操作して圧縮機の昇圧比を低下させる事により、パワータービンの発生動力を低下させ、圧縮機の動力消費により回転降下を行う。また、原子炉出口の高温ヘリウムガスは、原子炉のCCS (Core Conditioning System) により循環・冷却され、パワータービンへの流入を防止する。

6. プロジェクトの現状

6.1 実証機 (デモ機)

PBMR社により開発中のPBMR初号機はデモ機として南ア・ケープタウン近郊のクバーク原子力発電所サイト(加圧水型軽水炉2基が稼働中)に建設を計画している(図7に発電所の写真を示す)。

南ア政府の規制当局は本デモ機の許認可に当たって、既存の各国の許認可体系を眺望し、高い安全性と品質の検証を要求する基本方針を採用した。この一例は、十分な炉心安全性を有した高温ガス炉であっても、機器の品質程度は既存軽水炉と同等以上という十二分に保守的な基準体系概念となって顕れている。このため、プロジェクトの工程は当初予定より若干遅れているが、燃料工場の建設開始などと相俟って主要機器の製作もスタートしつつあり、2009年下期には建設準備に入る予定といわれ



PBMR 社資料より

図7 南アフリカクバーク原子力発電所

ている。

一方、PBMRの開発に当たっては、システム・機器の機能確認等のための検証試験も多数実施されている。その主なものの内、マイクロモデルと呼ぶヘリウム試験装置では、閉ブレイトンサイクルの運転実証がなされた。また、南ア原子力公社 (NECSA) ペリンダバ・サイトに建設されたHTF (Helium Test Facility) と呼ばれるヘリウム試験ループでは、実寸大の機器を試験体として、当該機器実機条件を用いて運転し、機器性能等の検証が行われている。当社関係でもヘリウムガスタービン開発に係る材料検証・要素開発等を実施中である。

6.2 PBMRの多目的用途

PBMRは900℃の高温を得られることから、発電用のみならず熱供給用プラントも計画されている。これらは化学プラント用に熱供給するほか、海水脱塩や水素製造などの多目的利用が構想・計画されており、米国原子力水素開発の一翼を担うNGNP (Next Generation Nuclear Plant) プロジェクトにおいて候補炉概念として採用され、開発に着手している。

7. おわりに

南ア政府の強力なバックアップのもとPBMR社を中心に開発中の小型高温ガス炉PBMRの枢要機器であるヘリウムガスタービンへの取り組みについて概説した。本ヘリウムガスタービンはPBMRの特長を最大限活かすべく、当社のガスタービン高温技術、超々臨界圧蒸気タービン高压技術と原子力技術の総合的組合せにより実現し、概念構築から製作の段階に至っている。

本稿では、各種、類似システムとの比較からヘリウムガスタービンのシステム・構造、延いては運転・制御の特徴を明らかにした。

南アでは高い信頼性、安全性、品質を求められており、南アのみならず世界各国の関係者と協調しつつ開発を進めているところであり、改めて関係各位に謝意を表するとともに、一刻も早い南アにおけるデモ機の完成を祈念したい。

参考文献

- (1) PBMR社ホームページ並びにカタログ類
- (2) HTR2006 Proceedings
- (3) ICAPP'08 Proceedings
- (4) 月刊エネルギーレビュー 2008年4月号
「PBMR商業化へ向け奔走中」
- (5) 原子力ハンドブック オーム社
- (6) Nuclear Engineering and Design "Cost and performance design approach for GT-HTR300 power conversion system"
- (7) 火力原子力発電技術協会
「火力原子力発電50年のあゆみ」
- (8) GAS TURBINE WORLD March-April 2007

新開発の超高性能再生熱交換器 —三次元熱交換器の隘路を二次元断面形状で解決した—

The High Performance Heat Exchanger —An Improvement on the Regenerator by Geometrical Way—

伊東 孝彦^{*1}
ITO H Takahiko

関 純子^{*1}
SEKI Sumiko

ABSTRACT

The importance of regenerative heat exchanger in a gas turbine cycle, especially on low pressure turbine cycle, as MGTs (Micro Gas Turbine) is well known. We propose a way to increase the thermal efficiency of the regenerative heat exchanger for gas turbine cycle. The heat exchanger consists of cell alleys between gas separation walls. Compressed air and exhaust gas flow in the cell alleys in the opposite direction each other, and heat exchange is realized efficiently. We obtained a Patent of this heat exchanger in June 2007.

Key words : Regenerate gas turbine cycle, Heat exchanger, Thermal efficiency, MGT, Patent

1. はじめに

ガスタービンは成熟期に到達した。

航空機エンジンという特殊な需要に絡んで異常な発達を遂げ、地表での熱機関の代表格として舞戻って来た。

筆者が再生ガスタービンの文献に初めて接したのは1950年頃であったと記憶する。

英国でホイットル卿が世界で初めてガスタービンを運転してから20年も経過していなかった。

米国の自動車メーカーなどがMGT試作・実験報告を発表していた。それらは全て申し合わせた様にユングストローム再生熱交換器を備えていた。

当時は未だ、小規模のガスタービンの軸出力を利用する機関の熱効率は驚くほど低かった。

ユングストローム熱交換器は外燃機関の排煙と燃焼用空気との熱交換のために開発されたもので、差圧のある内燃機関の熱交換に適用するのは誤りであると筆者は感じていた。

筆者等は1983年に発電端定格出力5kWのガスタービン発電機を試作したが、再生熱交換器の能力不足などで、効率は10%に達しなかった。

Fig. 1, Fig 2 に試作したMGTの外観写真を示す。そ

の後、再生熱交換器の改良を重ねて、一応の水準に達したが事業化は行わなかった。

昨今のMGTブームは、余りの低効率、ある有名な輸入品の実運転では22%を下回る熱効率と有効効率15%未満が災いしてブームは収束した。

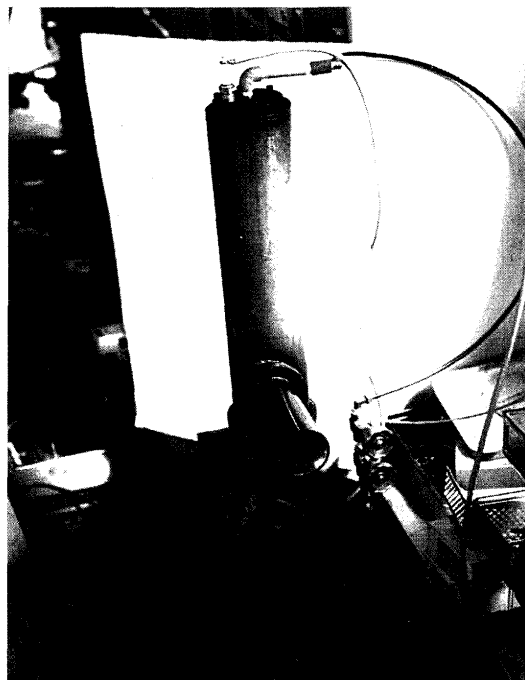


Fig.1 Prototype gas turbine made on 1983

原稿受付 2007年8月23日

校閲完了 2008年10月28日

*1 (株)雪ヶ谷制御研究所

〒222-0033 横浜市港北区新横浜2-12-12-203

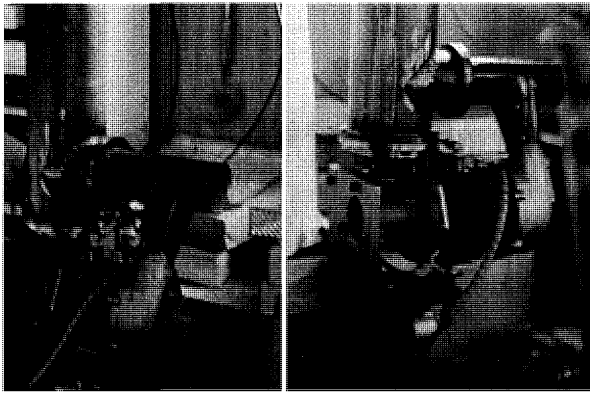


Fig. 2 Gas turbine in our laboratory

筆者等はMGT向けの熱交換器を開発して特許を出願し、本年6月に特許査定されたので、これを機会に、対向流型熱交換器に関する報告をさせていただきます。

2. 再生サイクル

2.1 再生サイクルの概要

内燃タービンは基本的な熱サイクルとして知られて居り、Brayton cycleとも呼ばれる。タービン機関の規模が大きい場合、即ち、大出力のガスタービンに於いてはタービン本体と圧縮機の効率を十分に高く保つ事ができるので、燃焼圧力とタービン入口温度を高くして、理論的熱効率を向上する事が可能である。しかし断熱圧縮によって吸気温度が上昇するので排気熱の回生は困難になる。一方の、小型ガスタービンでは熱効率を向上するために再生熱交換器を如何に有効に取り込むかが重要な課題になるであろう。Fig.3に再生タービンサイクルによる発電システムの概要を示す。本稿では、再生熱交換器(regenerator)の性能向上に関わる諸問題とその解決手段として、新開発の熱交換器を紹介する。

Fig.3でタービン軸出力は電気的出力とは異なるが、試作したMGTではタービン軸はシステムの外部に露出して居らず、機械的計測はできない。

タービン回転数も同期発電機の発電出力電力の交流周波数によって行う。

軸出力も発電機の出力電力から換算するが、筆者等は、

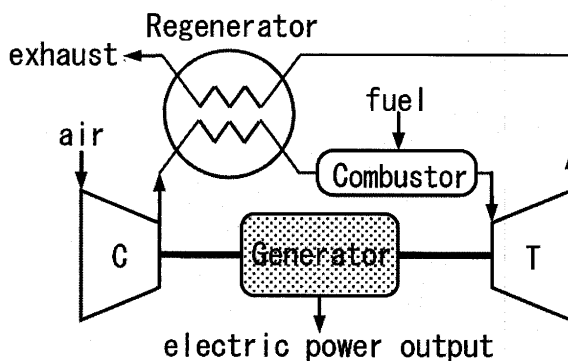


Fig. 3 MGT generator system

パワーエレクトロニクスと電気機器の開発設計をも業務として行っているので計測上に全く問題は無く、発電機の効率は約97%である。

また、タービン等の出力測定も実際には発電機によって行われているので、発電電流対トルク特性のキャリブレーションさえ適確に行われれば、計測精度は充分で再現性も確保される。

軸に配置されたローターは、2乃至4極の希土類磁石で、ネオジウム磁石以前であった事と耐熱特性からサマリウムコバルトを使用し、炭素繊維のフィラメントワイディングで遠心力に対応した。

2.2 再生サイクルの熱効率

再生熱交換器が再生サイクルの熱効率に与える影響を検討する。

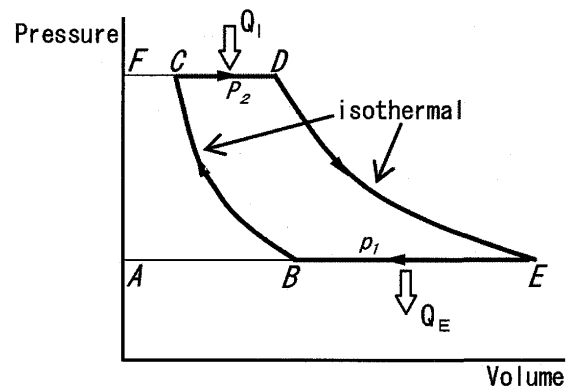


Fig. 4 The open gas turbine cycle

排熱を回収して、入熱の一部として回生する場合にはFig.4のサイクルに於いて排熱 Q_E は式(1)で表される。

$$Q_E = i_E - i_B = C_p(T_E - T_B) \quad (1)$$

しかし排熱と接触する温度は T_C であるから、熱交換器の温度効率を100%としても交換し得る最大熱量は式(2)の値に過ぎない。

$$Q_E' = i_E - i_C = C_p(T_E - T_C) \quad (2)$$

$\eta_E Q_E'$ の熱量を回収するとすれば、必要な熱量 Q は、式(3)で表される。

$$Q = C_p[(T_D - T_C) - \eta_E(T_E - T_C)] \quad (3)$$

再生熱交換器の温度効率を η_E とすると、サイクル効率 η_{aE} は式(4)で表される。

$$\begin{aligned} \eta_{aE} &= \{(T_D - T_E) - (T_C - T_B)\} \\ &\quad / \{(T_D - T_C) - \eta_E(T_E - T_C)\} \\ &= \left[\left\{ \frac{T_D}{T_B} \right\} \{1 - r^{-(k-1)/k}\} - \{r^{(k-1)/k} - 1\} \right] \\ &\quad / \left[\left\{ \frac{T_D}{T_B} \right\} \{1 - \eta_E r^{-(k-1)/k}\} - (1 - \eta_E) \{r^{(k-1)/k} - 1\} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

温度効率 η_E を100%、即ち $\eta_E = 1$ とおけば式(5)となる。

$$\begin{aligned} \eta_{aE} &= 1 - (T_B/T_D) \\ &\quad \times [r^{(k-1)/k} - 1] / [1 - r^{-(k-1)/k}] \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)は、再生熱交換器の性能と再生サイクルの熱効率の関係性を定性的に表している。

圧力比 r が小さいほど、また、 T_B/T_D が小さいほど η_{aE} は大きくなる。関係をFig.5に図示する。

熱工学的には当然の現象だが、ガスタービンとして成立し得る最低圧力比とか、タービン翼の耐熱限界などの実務上の要因で設計が決る。MGTを設計するのに適当な条件を満たす領域を図上の平行四辺形で示す。

また、筆者らが試作したMGTの運転条件を白丸で示した。

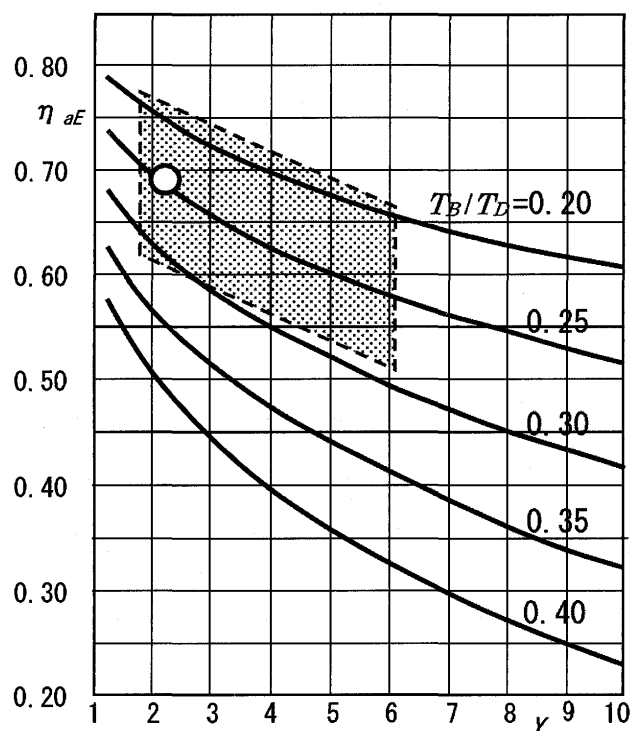


Fig.5 Thermal Efficiency

Fig.5はガスタービンの圧縮比が再生器の効に深く関わっている様子がうまく表現されている。

因みにこの部分は、日本機械学会編集に成る機械工学便覧、昭和26年版(1951年)、分冊5、第11編、熱および熱力学の、11-85~86を基に筆者等の実験結果を加味して構成したものである。

2.3 試作した小型ガスタービンの概要

1983年、筆者等はガソリンエンジンやディーゼルエンジンのターボ過給器を改造して小型ガスタービンを試作した。

Fig.1、Fig.2に外観を示したもので、実験の便宜を図って、簡単に持ち運べる程度のスケールを選択し、圧縮機とタービンは、何れもラディアルフローで、既成の車両用ターボチャージャーから、それぞれ取り外して組み合わせるか自作した。

発電機は軸の中央部に配置し、水冷または油冷の為の

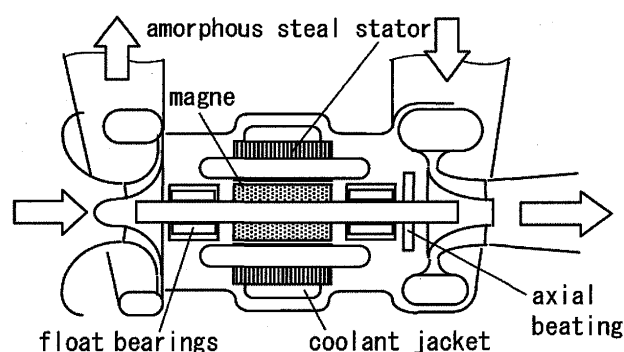


Fig.6 Cross section of the MGT generator

ジャケットを設けた。

概略の断面図をFig.6に示す。

発電機は永久磁石回転子を備えた3相同期機で、ガスタービンのスターターモーターを兼ねている。

ステーターコアは初期には珪素鋼板を用いたが、後にアモルファスコアを用いた発電機に換装した。

なを、アモルファスモーターを実際に製作し、実用運転を行ったのは筆者等が世界で初めてであったと考えられる⁽¹⁾。

タービン軸受は、フロートベアリングを用い、低速回転時の磁気吸引力を支持できるように、滑り負荷許容値を大きくした。

また、小型ガスタービン発電機を試作した当時は、筆者等の片手間での開発であった為に、まずは自立回転、僅かでも発電電力が得られる事を第一の目標としていたので、実験の目的に直接的な関係が少ない燃焼器には充分の容積を与える様に大きめの設計で済ませて要素削減を図った。

全体の構造も、1名のみで組み立調整と試運転ができるように配慮した。

同期整流装置を兼ねるスターターインバーターも同時に製作して運転を行った。

燃料系統も簡易化のために気化器を省略して、LPGポンプの圧力を利用して、手動バルブで行った。

流量調節弁と締め切り弁を直列接続した。

点火システムは、当時出回っていた電熱気化式の家庭用石油ストーブ点火用のテスラコイルと制御回路を改造して流用した。

点火栓には空冷ガソリンエンジン用の標準品を使用した。

潤滑系統は他の実験用に試作した油圧サーボ装置用のポンプを流用した^{(2),(3),(4)}。

実際の運転では、タービン軸の回転数20000rpm前後で自立運転が始まり、24000rpmを超えると完全に自立した。

100000~125000rpmで負荷試験を行い、約3kWの発電端出力が得られた。

最高運転回転数は165000rpmであった。

3. 再生熱交換器

3.1 小型ガスタービンの効率を高める

小型ガスタービンでは、圧縮比を高くすることは困難であり、また、圧縮機とタービンの効率にも限界があるので、再生熱交換器を利用してサイクルの熱効率を確保して実用化を図るのが好ましく、従来から様々な試みが成されている。

3.2 ユングストローム式熱交換器

ユングストローム式熱交換器は、ローターの熱容量を利用して対向流型の理論効率と同様に100%の熱交換効率を目指そうとする装置である。

しかし、ユングストローム式熱交換器は、蒸気機関用に作られたもので、ボイラ加熱炉に供給する燃焼用空気を、炉から排出される燃焼ガスで温める目的で作られたものである。

従って、熱交換を行う両ガスの圧力差はすくなく、煙突の元来の機能からみても排気圧は環境の圧力（大気圧）より低くなるので、燃焼空気に排気が混入しない。

また、ローターに一旦蓄熱して熱交換を行う場合には、機関の出力変更時に問題が生ずる。

Fig. 7 にユングストローム空気予熱器、Fig. 8 に同ローターの蓄熱部の構造を示す。

蓄熱部は板厚 1 mm 以下の鉄板で構成されている。何れも機械工学便覧、昭和26年版（1951年）、分冊 6、第 13篇、蒸気動力の、13-54~55、第95図、第96図を転載した。

一方のガスタービンでは排気との差圧が大きく圧縮された燃焼空気が排気側に漏出して著しく熱効率を低下させる。

シールを厳重に行おうとすると摩擦損失が大きくなり、正味熱効率は低下し、更にシール部分の損耗も著しい。

また、前述の蓄熱体の熱の出入りの問題が残る。蓄熱体を用いることによって熱伝達の遅延、即ち、時間的な応答、Frequency responseが低下するといった好ましくない現象を伴う。

また、蓄熱体の角速度を高くする事は更に問題を大きくする。

MGTは熱効率の高い運転領域が限られているのでオン・オフ制御を行うのが正しい。

従って、エネルギーの平準化技術が必須となる。

筆者等は、電気二重層キャパシター^{(5),(6)}を始めとするエネルギー蓄積とパワーエレクトロニクスの技術分野でMGT実用化の受皿を整えた。

後にアイシン精機が開発してプリウスに搭載された事によって市民権を獲得したハイブリッド動力システムの起爆薬になった技術である。

筆者等が開発した電気二重層キャパシター^{(5),(6)}は1988年、或る自動車メーカーが発表してEDLCフィーバーを惹起したが、数年後ハイブリッド自動車のプースターと

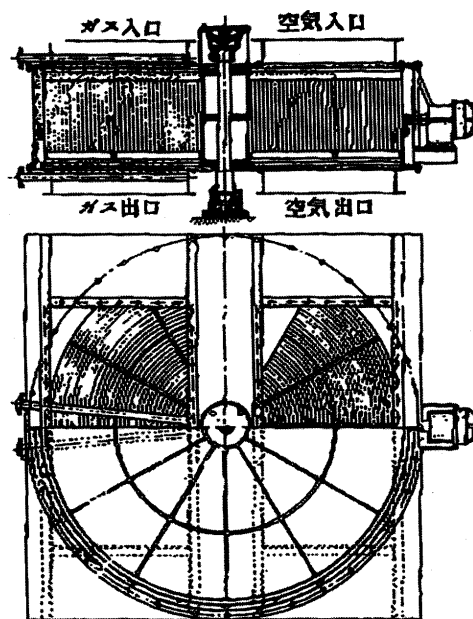


Fig. 7 Yungstrom heat exchanger

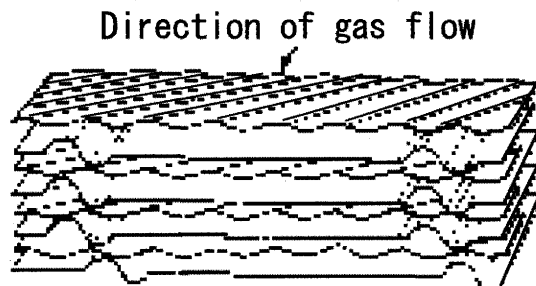


Fig. 8 A section of heat storage rotor in the Yungstrom heat exchanger

して脇役の立場で収束を見た。

自動車業界における電気工学の“力”が如何に大切な、を問うた歴史的一幕であった。

MGTは高効率で運転できる範囲が狭いので、負荷の平均値に合わせてオン・オフの時分割運転即ちPulse Width Modulation制御が有効である事はさきに述べた。MGTに高い出力応答性が求められる理由である。これに伴いエネルギー蓄積装置が必要となり、電気二重層蓄電器（Electric Double Layer Capacitor）を主体とする蓄電装置を開発した^{(5),(6)}。

3.3 再生熱交換器に望まれる特性

ガスタービンの熱サイクルでは、圧縮された吸気と大気圧まで膨張した排気ガスとの間で熱交換を行っているので機関を設計するにあたっては熱交換器の熱容量をも考慮に入れなくてはならない。

MGTの負荷に平衡する運転などは望むべくもないので、仮にガスタービンをオン・オフ制御したとしても、再生熱交換器自体の熱容量は機関の平均熱効率を低下させる結果になる。

そこで、MGTの再生熱交換器に期待される特性は、
質量が無いか、小さい。
伝熱面積が無限に大きいか、充分に有る。
流路抵抗が“0”か殆ど無い。
環境との間での熱伝達が無いか、極めて少ない。

おおよそ上記の4点位であろう。

この様な意味で、現在ではユングストローム式熱交換器をガスタービンに転用しようとの試みは放棄されている。

一時、セラミックスが脚光を浴びた頃にはセラミックスハニカム製蓄熱ローターの試作などが試みられたが、今では全く影を潜めている。

ガスタービンを理解しないで試作して失敗した例の一つである。

これに似た失敗がある、かつて、政府機関の一つで水素エネルギープロジェクトがあった。

地球上の日当たりの良い国にソーラー発電プラントを建設して水を電気分解して水素を造り、タンカーで日本に運んで来る。その水素をガスタービンの燃料にして発電をしようという話であった。

ガスタービンはアルゴンを作動流体にして水酸素燃焼を行うという怪しげな企画で、盛大にパンフレットなどを配布していた。

筆者等は、水（水蒸気）を作動流体とする水酸素燃焼の内燃ランキンサイクルの開発を終了したところだったので、Fig. 9 に示すシステムを教示した。

該プロジェクトは直ちに図示の水酸素内燃ランキンサイクルに転換して計画は生き延びた。

水の電気分解の場合は H_2 と O_2 の対が得られるが、空中の酸素を分離しようとすると大問題が起る、これの解決にも本熱交換器は極めて有効である。

O_2 とArの物性に類似性がある、深冷分離では酸素中のアルゴンを除去するのが容易でない。酸素中の残留アルゴンは復水器の真空度を阻害してランキンサイクルの熱効率を低下させる。

次章、熱交換器特許の利用例に、空気の高圧分離に適する熱交換器の構造例を挙げたのには、この様な背景が

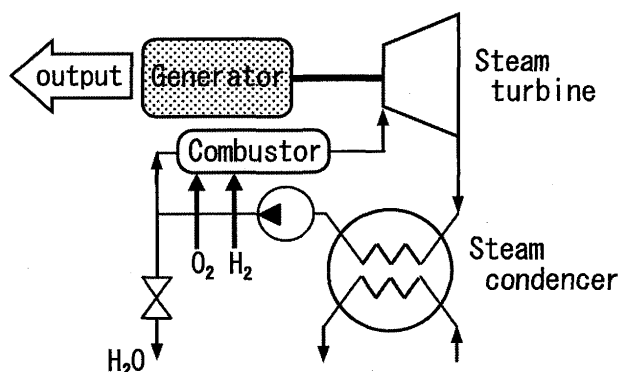


Fig. 9 Inner combustion Rankin Cycle

あったからある。

なを、排水の全量を燃焼室の圧力以上に加圧する必要はないが、復水器内は負圧になるので大気圧まで圧力を上げて排出するポンプは必要になる。

4. 新開発熱交換器

MGTでは再生熱交換器の性能がサイクルの熱効率に大きく寄与する事は前章で述べたが、2007年6月、筆者等が特許を取得した新開発の超高性能再生熱交換器について述べる。

MGTの実験以後、約20年間放置してあったが、21世紀に入ってから特許出願をしたところ、先日、初期の出願部分が特許された。

Fig.10は該再生熱交換器の概念図である。

Aは外筐で排気集合ヘッダーを兼ねる。

Bは圧縮された吸気導入路、Cは排気導出路である。

D, E, が圧縮吸気通路と排気通路であって、対向流熱交換器を形成する。

Fは加熱された圧縮吸気の導出路で、集合ヘッダーを介して燃焼室に至る。

Gはタービンの排気導入路である。

実装に際しては、Fig. 6 のタービンの排気口に対向して配置される。

当然の事として、従来技術であるスパイラル熱交換器との類似性が問われるが、両者の間には原理的に大幅の相違がある。

但し、Fig.10の隣接するB, C間とFに隣接するの連通部分では、上述のスパイラル熱交換器の原理上の弊害により損失を生ずる。

Aの温度が、サイクルの終端温度の近傍にあって、熱交換器のG点の温度に関係を持たない所に筆者等は工業

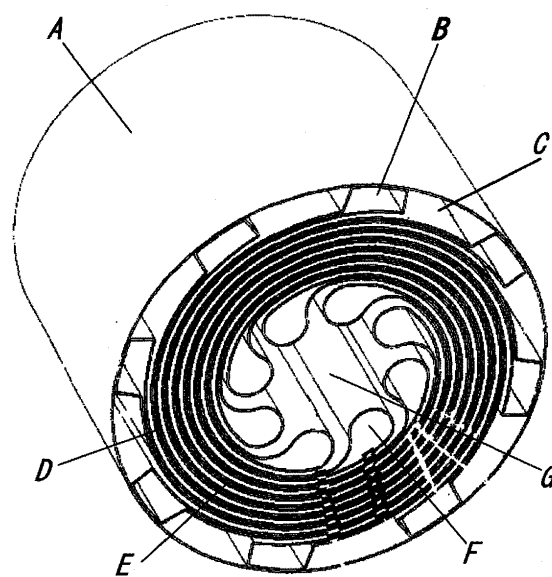


Fig.10 A picture shows concept of the Invention

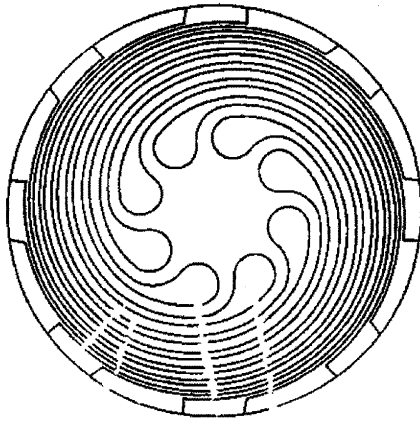


Fig.11 Cross section of the regenerative heat exchanger for MGT

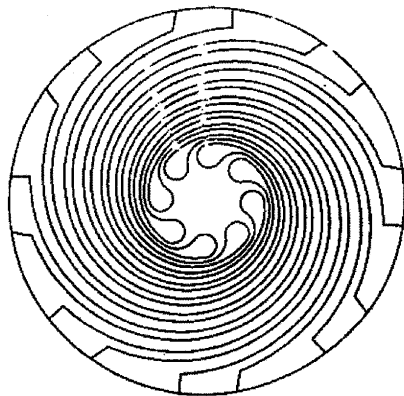


Fig.12 Cross section of the heat exchanger for cryo-technologies

上の利用への可能性を認め特許出願した。

また、熱交換を行う部分が二次元図形で構成されているのでFig.11に示す様にガスの温度変化による流速変化を任意に制御する構成が可能になった。

外気温度から隔たった温度になる部分を装置の中心部に配置する事は、MGTはもとより、さきに述べた低温技術の分野でも著しい効果を発揮する。

低温技術では、水蒸気の氷結と空気の液化に伴う濡れによる熱伝導率変化を防ぐ事が課題となる。

Fig.12に低温用の熱交換器の断面を例示した。

空気の深冷分離では熱交換器の一部が、100K以下の低温に達するので外周部分を環境温度に近い温度に保てる事は極めて重要な意味を持つ。

Fig.12の構造による断熱効果は理解できよう。

5. おわりに

1968年頃から、ガスタービンが究極の熱機関であろうと考えてMGTの実験に着手した。

熱効率とNOx問題の解決が目標であった。

インペラー径10～120mm、最高1,200,000rpm、チップ速度マッハ1～2で小型ガスタービンの実験を行っていたが、全て磁気軸受で支持していたのでグロス効率をプラスにするには至らなかった。

現在ではゼロパワー磁気軸受⁽⁷⁾の開発を済ませてあるので、何時でもガスタービンに利用できる。

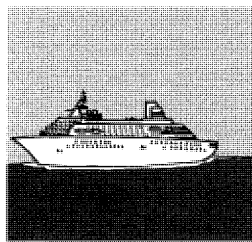
また、パワーエレクトロニクスの発達によりハイブリッド熱機関が容易に実現できる時代である。

MGTの本格的な実用化の時機到来と思うが、“再生熱交換器”はMGT発展に貢献すると考える。

究極の熱機関とも呼べるガスタービンの更なる発展を期待して止まない。

参考文献

- (1) 深尾正：アモルファス鉄心で超高速電動機，日刊工業新聞，1988年6月21日
- (2) 伊東孝彦，関純子，青山浩一，島田悟，鈴木茂：油圧技術に於ける新理論の提案，平成14年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，May 23, 2002
- (3) 鈴木茂，青山浩一，吉田，山野孝寛，関純子，伊東孝彦：油圧制御に於ける新方式の試作，実験報告，同上
- (4) 伊東孝彦：蓄エネルギーと架線レス車両の可能性，鉄道車両と技術，No.89 (2003-9) pp2-12
- (5) 伊東孝彦，関純子：操舵台車とエネルギー蓄積をそなえたLRV，代11回交通・物流部門大会講演論文集，日本機械学会，Dec.11 2002 pp 247-250
- (6) 森和也，長谷部章雄，敦賀紀久男，伊東孝彦，関純子：電気二重層キャパシタの電圧平準化装置，平成13年電気学会全国大会講演論文集，[4] パワーエレクトロニクス/産業システム，March 21 2001
- (7) 伊東孝彦：(520) 変位微分回路を排除した新制御方式を用いてゼロパワー浮上を実現したAMB，Dynamics & Design Conference 2004，Sept. 27-30 2004 pp.226 アブストラクト集
本論：CD版D&D2004，[520]



「サーモ・プレッサー」の思い出

一色 尚次^{*1}

ISSHIKI Naotsugu

今から50年前、私は船舶技研の30才台の若い研究員であったが、幸いにも妻とともにフルブライト留学生に合格し、しかもアメリカで優秀を誇るMIT（マサチューセッツ工科大学）に行くことになった。妻はボストンのエマソンカレッジとなり二人はボストン市に部屋を借り両方に通うこととなった。

私はMITのガスタービンや諸エンジンの研究の中心であるスローン・ラボに所属となったがそこには九州大の妹尾泰利先生がすでに居られ大変心強かった。

さて私は同所のシャピロ教授の創案されたサーモプレッサーなる新装置の研究の一員となることとなった。

サーモプレッサーなるものはガスタービンエンジンの出口ガスのように高温高速のガス噴流を冷水のようなもので急速に冷却させると、ガス速度が同じでも密度が上がるので動圧が上昇し、よってそれをディフューザーで減速するとより大きい圧力上昇が生ずるはず、よってガスタービンの出口圧力を減少させるのでその出力上昇が可能とするであろう、というものである。

このアイデアに対して海水が使える米海軍がかなりの予算を出してスローン・ラボに研究委託をしたのが、私の行った時の状況であり、すでに数百馬力の送風機とその噴流の加熱装置とガスノズル兼冷却用水噴霧器、ディフューザー等がほぼ完成していた。主任研究員はケネス・ワドレイ博士であった。

さて水噴霧器は流路内金網に取付けた多数の細い単独ノズルから一斉に細い高圧水を噴き出すもので、その水の蒸発熱で約350℃の噴流を100℃台に急冷しようとするものであった。私は最初はこの噴射された水（微水滴）がどうなるかを観察する役であり、噴流の出口に小さな板を入れて見ると、思いがけずも当然蒸発しているべき水がまだ多く水滴で残っているのを発見した。

そしてサーモプレッサー自体の性能も低く圧力上昇は予定の10%くらいであった。それは予想以下の低い性能で、一同一度はがっかりしたが、とにかく分担して改良を画ることになり、私は水粒がうまく砕け散る「霧化」つまりアトマイゼーションを担当することとなった。

私は小さな水滴が管端から下に落ちる時に上方から風を当てて観察する実験装置を作り当時MITで使用されていた超高速フラッシュカメラとその光源を物理学科から借りて来て水が砕ける様子を撮影観察した。

すると水滴径が小さく、かつ風速が小さいうちは水滴は一旦風船のようにふくらむが、またもとへ戻る、しかしある限界以上の風速と水滴径となると水滴は砕け散ることがわかった。これで自然に落下する雨粒がある大きさ以上ならないし、また雲や霧のように小さい水粒はそのまま浮いていることが説明できるわけである。

私は水だけでなく色々の液体の多種類で実験した結果、この限界値は表面張力と粘性にも強く関係している。

先のサーモプレッサーは十分の風速があるので私の霧化理論を導入して、水は逆向きに吹き、かつボイラバーナーのように十分細い噴霧の出るノズル多数に変更し、かつディフューザーを長くした。その結果圧力上昇は前より上昇したが、とても希望値には達せず、遂にサーモプレッサーの研究は中止された。

その理由は水噴射装置と水の空気抵抗が大き過ぎることと、十分な蒸発を完了させるためにディフューザーが長くなり、ディフューザー効率が低下したためである。

このアトマイゼーション研究をやっている最中、同じ研究室にて別チームがやっていた研究用自動車エンジンが突然高速となり過ぎて爆発して私の装置も一部こわれたが、幸い人的被害が無くて済んだのは極めて幸運なことであった。

MIT滞在中は稲尾先生御夫妻とお嬢様と我々夫婦と一緒にニューハンプシャー州へドライブ旅行をしたり、また東大から来られた西脇仁一先生や、若い日の堀幸夫先生らと時々ロングドライブや工場見学をした事は大変楽しいことであった。

また私は当時できたばかりのMITの原子力工学科の大学院学生を同時に勉強したが、米人学生達が放射能物質をひもにつけて振り回し、一同が逃げ回ったり、実験用原子炉を学外に造る実習のとき、いたずら学生がカーボンレンガを一個抜かして積み上げたりするのを見て面白がったものである。今はもうそんなルーズではないであろう。

僅か2年の留学であったが、MITでの研究はそれからの私の研究にすばらしい影響と思い出を与えた。このチャンスに私に与えられた神に感謝しつつ拙文を了えたい。

原稿受付 2008年10月10日

*1 東京工業大学 名誉教授（熱工学）

(株)日本ガスタービン学会 名誉会員

(株)日本機械学会 60期会長

〒156-0052 東京都世田谷区経堂2-29-6

Imperial College London滞在記

松浦 一哲^{*1}

MATSUURA Kazuaki

2007年12月より1年間の予定で、イギリスのImperial College Londonの機械工学科熱流体部門 (Department of Mechanical Engineering, Thermofluids Division) において研究を行っていますので、こちらの様子を簡単に紹介させていただきます。

1. Imperial College London

Imperial College Londonは、世界でも有数の理系中心の名門大学で、過去に14名のノーベル賞受賞者と2名のフィールズ賞受賞者を輩出しています。創立は1907年で、元々はUniversity of LondonのCollegeの1つでしたが、創立100年を記念して昨年2007年7月に独立し、同時に学位もUniversity of LondonではなくImperialが独自に授与する形式となりました。以前はImperial College of Science, Technology and Medicineという非常に長い名前でしたが、2002年より現在の略称を対外的に使用しているようです。学生は学部生約8000人、大学院生が約4000人で、40%程度が留学生 (院生については約60%以上)、私の所属する研究室の学生に至っては、イギリス人は約10人中1人です。そのため、Queen's Englishをマスターするにはあまりいい環境ではないかもしれません。様々な文化圏からの人々が混在するロンドンという土地柄もあるのですが、回りの人の話を聞くと、概してイギリス人 (帰化者はのぞく) は他国出身者と比べると大学に残って学問を究めるという志向が弱いようです。

2. Department of Mechanical Engineering, Thermofluids Division

私の所属するThermofluids divisionは、現在P. Lindstedt教授をヘッドとして、Academic VisitorやResearch Assistantも含めると約35人の研究スタッフと約40人の大学院生が所属しています。当divisionの歴史には、熱流体レーザ計測のパイオニアの一人でレーザドップラ流速計のバイブルとも言える“Principles and practice of laser-Doppler anemometry”の著者のJ.H. Whitelaw教授、CFD実用化・汎用化の先駆的役割

を果たされ、“Combustion and Mass Transfer”の著書で著名なD. B. Spalding教授など、燃焼・流体に関する錚々たる先生方が名を連ねています。ガスタービンの燃焼関係者では知らない人はいないとも言える、A. H. Lefebvre教授 (Cranfield大学, Purdue大学) が学位を取られたのも当機械工学科においてでした。

現在研究テーマは多岐にわたっておりますが、私の身近なところを簡単にご紹介しますと、燃焼・混相流現象の解明、光学計測技術の開発、LES, DNSなどのCFD及び関連した混相流乱流・化学反応モデルの開発が主なところです。CFDについては、ロールスロイス社で燃焼セクションのヘッドを務めたこともあるW. P. Jones教授や、A. Kronenburg博士、T. Zaki博士等が担当されています。一方、実験的研究については、P. Lindstedt教授、A. M. Taylor教授、Y. Hardalupas博士らが担当しています。その他A. Heyes博士、J. Feist博士らは蛍光物質をドーブしたThermal Barrier Coatingによりリアルタイムで温度や劣化状態のモニタができる技術を開発しています。

3. 研究内容

ここでは私が所属しているA. M. Taylor教授、Y. Hardalupas博士の研究グループについて簡単にご紹介いたします。当グループでは、独自のレーザ計測技術開発能力を強みに、燃焼・混相流・液体微粒化分野の研究を実験中心に進めています。最近の話題としては、光学エンジンを用いたHCCI燃焼の研究、バイオ燃料燃焼、高温高圧条件下のディーゼルエンジンの噴霧特性・燃焼特性の研究、予混合ガスタービン燃焼器の希薄限界条件付近における火炎構造の研究、液柱の不安定・分裂現象、噴霧液滴と気相乱流の干渉に関する研究などがあります。上記の研究テーマに関連する計測技術開発の研究としては、赤外線吸収法によるICエンジン内の計測、蛍光を利用した液柱分裂構造の可視化、干渉画像法 (ILIDS) とPIVを組み合わせた液滴径・液滴速度・気相速度の同時面計測などがあります。その他、燃焼応用技術として最近ホットな話題になりつつあるナノ粒子生成プロセス制御のための現象解明や、電界と火炎の干渉、対向バーナを用いた火炎の相互干渉について、予備段階の研究が始まっております。私自身は、これらの中の複数のプロジェクトに広く (浅く?) 関わりながら、同時に航空エンジン燃焼器の着火過程に関連した研究を進めています。

原稿受付 2008年10月14日

* 1 宇宙航空研究開発機構 航空プログラムグループ
環境適応エンジンチーム
〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1

4. 研究環境

研究費については大学ですので必ずしも国立の研究所のような潤沢な資金があるとは言えませんが、我々のグループの現状に関しては、自動車会社からの委託・共同研究に関連した資金提供もあり、比較的恵まれていると思います。最も大きな割合をしめるのはEngineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC) からの研究費です（日本で言えば科研費でしょうか）。また、博士の学生には企業が1/3程度を負担するという条件でEPSRCが残額を負担するIndustrial CASEというカテゴリーの助成があり、目的はともかく助成の方法としては経済産業省のマッチングファンドのようなものを想像させます。このほかEUのプロジェクト等もあり、これらが研究室の活動資金となっています。

研究スタイルの特徴ですが、先述の通り、近年ご他界なされたWhitelaw教授のころから、独自のレーザ計測技術の開発は当グループの十八番となっています。私も以前関わったことがあるのですが、微粉炭や噴霧乾燥などで問題になる非球形粒子の粒径速度同時計測技術であるシャドウドップラ粒子計測法などは、ユニークさの点からはその最たるものでしょう。そのような歴史的背景から、若い世代であっても「自分の使う計測技術は自分で開発する」という気質が脈脈と流れているように感じます。以前と比較するとハードウェアをいじることは少なくなりましたが、誤差解析の必要上、ブラックボックスとなる商用の実験解析ソフトウェアは頑なまでに使用せず、ホームメイド版を開発して使用しています。当グループからの計測技術に関する論文がよく参照されるのは、このような姿勢が評価されてのものだと思います。

研究の進め方ですが、基本的には博士課程の個々の学生が、それぞれ1人1テーマをもって進めています。複数人でそれぞれの持ち味を生かして複数のテーマにあたった方が効率的ではないかと思うこともあるのですが、時間もかかる分、学生は学位をとるところには独立した1人前の研究者に成長します。ただし、最近は博士課程の期間が最大4年までに短縮されて、質の高い学位取得者を輩出するのが難しくなりつつあるようです。

これからイギリスの大学で研究を考えていらっしゃる方のために、研究環境について敢えて1つだけ困る点をあげるとすると、日本と比較してなかなか実験が進まない点でしょうか。実験の際の安全上の規定が厳しいので装置の準備に時間がかかりますし、特定の作業ができる

職員が厳しく限定されていて、しかもその職員が長期休暇中で何もできないということが時々起ります。短期決戦で実験による研究を進めようとされる方は、計画に十分余裕をもっていらっしゃることをご進言いたします。

5. 大学周辺の環境とロンドンの生活

大学周辺の様子ですが、大学の本部であるSouth Kensingtonキャンパスは、ロンドン中心部の西側、Hyde Parkに隣接しています。建物の方は近年の改装もあって、内側はともかく、外見は近代的な外装で、オックスフォードやケンブリッジのような歴史を感じさせる外装とは対照的です。大学の前の大通りはExhibition Roadと呼ばれる通り、博物館・美術館が立ち並んでいます。また、演劇・コンサート・各種イベントが行われるロイヤルアルバートホールも大学からすぐ近くのとこにあり、夏季に開催されるBBCプロムナードコンサート(The Proms, 音楽ファンの方にはご存じかと思われます)に仕事帰りにちょっと、ということもできます。一方、周辺は高級住宅街で、コンサートや博物館目当ての人たちを除けば、落ち着いた雰囲気です。ただし、出張旅費が潤沢に支給される方を除いては、大学近くに長期滞在するのは経済的に困難で、平均的には30分から1時間くらいの距離から通勤通学される方が多いようです。ロンドンとはとにかく物価が高く、家族で住む場合には月1000ポンド以下の場所を探すのは相当困難です。

6. 終わりに

上記の経済的な理由もあって、私は中心部から少し外れたロンドン西部の住宅地であるアクトン・イーリング地域に居住しています。ヒースロー空港が比較的近いため、上空をしばしば飛行機が通過します。このあたりの住民は、騒音・NOx問題に非常に意識が高く、環境団体が滑走路拡張計画反対の活動やデモを行っています。このため、未熟ながら飛行機の環境問題に携わる者として、今回の滞在は期せずして住民の立場からもいろいろ考えることが多い貴重な機会となっています。

最後に、今回の渡航に関しまして、宇宙航空研究開発機構、Imperial College Londonの皆様始め、様々な方にご協力いただきましたことに感謝申し上げます。

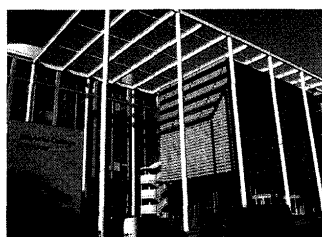


図1 Imperial College機械工学科のエントランス



図2 Trent 500の開発に使用されたファンセット
1990年に本大学に設置されたRolls-Royce Vibration University Technology Center (VUTC) の開発への貢献への謝意として、同社より大学創立100周年を記念して寄贈された

第16回ガスタービン教育シンポジウム報告

吉田 征二
YOSHIDA Seiji

2008年9月11日(木)、12日(金)の2日間にわたり、「第16回ガスタービン教育シンポジウム」が兵庫県明石市の川崎重工業株式会社(明石工場 研修センター)にて開催された。関西地区での開催は一昨年の三菱重工業高砂製作所での開催以来2年ぶりである。今年度は関東地区と関西地区のそれぞれで開催されることから、参加希望者が各地区に分かれてしまい、それぞれの会場での参加者数が減少することが心配されたが、各企業での勧誘および大学の先生方の勧誘のご協力もあり、最終的には定員を超える82名(学生27名、社会人55名)の参加者があった。今年7月3日、4日に関東地区(IHI 瑞穂工場)にて開催された第15回教育シンポジウムも同程度の参加者数だったので、今年度の教育シンポジウムは、いずれの会場でも例年以上に、また当初の予想を超える盛況であった。

本シンポジウムは、主にガスタービンの初心者を対象に、ガスタービンの基礎知識を学んで頂く目的で、各分野の第一線で活躍されている専門家による講義と、実際のガスタービンとその関連の製造及び研究開発施設等の見学を併せた企画であり、今回も1日目に講義2テーマと特別講義及び生産設備・試験設備等の見学会を実施し、2日目に講義4テーマを実施した。

1日目は、企画委員会の六山理事による開会の挨拶の後、3テーマの講義、(1)ガスタービン概論(青山邦明氏)、(2)ガスタービンと流体工学(古川雅人先生)、(3)特別講義として川崎重工業株式会社におけるガスタービンの開発(永留世一氏)、の講義が行われた。その後、官学・ガスタービンユーザー企業参加者とメーカー企業参加者に別れて設備見学をそれぞれ行った。官学・ガスタービンユーザー企業参加者は、川崎重工業が開発に参加している大型ファンジェットエンジンTRENT1000の運転試験を実施している航空用エンジン運転場と、小型ガスタービンと発電機やその他の補機類を組み立てて試運転を行っているパッケージ組立工場、および出力18,000kWのエンジン(L20A)本体の組立工場、そして明石工場内で使用する電力と蒸気を供給しているコンバ

インドサイクル発電設備「エネルギーセンター」の見学をおこなった。一方、メーカー企業参加者はエネルギーセンターの見学を行った後、川崎重工業の概要ならびに研究内容のビデオ紹介を視聴した。

設備見学終了後、研修センター内で懇親会が開催された。懇親会にはシンポジウム参加者の約8割の方が出席し、1日目の講師の先生方だけでなく2日目の講師の方にも出席頂いた。参加者同士あるいは講師を交えた議論と相互交流が時間いっぱいまで活発に行われていた。

2日目は、前日に引き続きガスタービン関連の4テーマの講義、(4)ガスタービンと伝熱工学(武石賢一郎先生)、(5)ガスタービンと燃焼工学(北嶋潤一氏)、(6)ガスタービンと材料工学(高橋孝二氏)、(7)ガスタービンと制御工学(足利貢氏)が行われた。

それぞれの講義ではいずれも、ガスタービンの基礎から最新の技術動向までを、実際の事例を交えつつ説明していただいた。受講者にとって今後の研究・仕事などを進める上で多いに役立つ内容の濃い講義となっており、皆熱心に聴講していた。全講義終了後、2日間の講義に出席した参加者全員に受講修了証が手渡された。また、参加者に対し今後の教育シンポジウムの運営及び教材に関するアンケートに御協力頂いた。アンケート集計結果は次回以降の企画および教材の改訂に反映する予定である。

本シンポジウムでは教材として「ガスタービン技術継続教育教材作成委員会」で編集された書籍を用い、その執筆者の先生方を中心に講師をお願いしている。時間の関係もあり、講義では教材の中の基礎編のみを扱ったが、教材には応用編や練習問題も含まれているので、参加された皆様にはこれらを有効に活用し、ガスタービンの知識を深めるのに役立てて頂ければ幸いである。

最後に、講義、資料等の作成・準備にご尽力して頂いた講師の先生方々に感謝すると共に、会場の提供、見学会及び懇親会についてご協力を頂いた川崎重工業株式会社の関係者各位に深く感謝いたします。

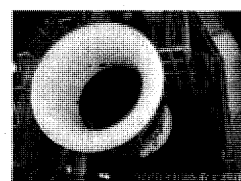
(企画委員)



講義風景



懇親会風景



航空用エンジン運転場

Asian Congress on Gas Turbines 2009 (ACGT2009) 開催のお知らせ

国際委員会／ACGT実行委員会

日本ガスタービン学会では2005年にアジア地区のガスタービン国際会議Asian Congress on Gas Turbines (ACGT) を立ち上げ、第1回を韓国ソウル国立大学で、韓国流体機械協会Korean Fluid Machinery Association (KFMA) との共催で開催しました。この会議は4年ごとに開催する計画で、第2回を2009年に東京で実施致します。今回は中国科学院工程熱物理研究所 (Institute of Engineering Thermophysics / Chinese Academy of Sciences) も共催団体に加わり、日中韓3カ国の共同会議として開催する予定です。皆様奮ってご参加下さいますよう、宜しくお願い致します。

実施要領

会 期：2009年8月24日(月)～26日(水)

場 所：東京大学生産技術研究所 (東京都目黒区駒場4-6-1)

共 催 団 体：日本ガスタービン学会 GTSJ

韓国流体機械協会 Korean Fluid Machinery Association (KFMA)

中国科学院工程熱物理研究所 Institute of Engineering Thermophysics/
Chinese Academy of Sciences (CAS)

内 容：論文発表80件, Keynote講演3件, Forum2件, Invited Lecture, Banquet等を予定

参加登録費：30,000円 (学生10,000円)

CD-ROM Proceedings, アブストラクト集, Banquetを含む

スケジュール：2009年3月31日 アブストラクト締切り

2009年4月30日 採否決定

2009年6月30日 原稿締切り

そ の 他：論文募集要項などの詳細は、近日中に学会ホームページに掲載しますので、ご参照下さい。

(<http://wwwsoc.nii.ac.jp/gtsj/>)

2008年度シンポジウム開催のお知らせ

テーマ「高効率・分散電源用ガスタービンの関連技術動向」

本シンポジウムでは、高い発電効率を持つ発電システムの実現に必要な要素技術とシステム化技術の研究と開発の動向について紹介します。

前半は、小型GT発電システム向けに検討されてきたセラミックと再生熱交換器の技術開発と最近の研究動向を紹介し、後半では、系統連携およびGTと燃料電池を組み合わせたハイブリッド分散電源の研究開発動向について紹介し、今後の技術検討課題について議論を深めたいと思います。下記の要領で開催いたしますので、奮ってご参加ください。

記

1. 日 時 2008年12月12日(金) 13:00～17:30 (受付開始: 12:30)
2. 場 所 早稲田大学 大久保キャンパス 55号館S棟2階第三会議室
東京都新宿区大久保3-4-1
東京メトロ副都心線「西早稲田」駅3番出口直通
<http://www.waseda.jp/jp/campus/okubo.html>
3. 講演内容
 - 1) 13:00-13:40 セラミックGTによる高効率化技術と課題: 杉本隆雄 (川崎重工業)
 - 2) 13:40-14:20 損傷を自己治癒する構造用セラミックス: 高橋宏治 (横浜国立大学)
 - 3) 14:20-15:00 再生器の技術動向: 榎 直樹 (住友精密)
 - 4) 15:20-16:00 GTを主電源としたマイクログリッドの制御技術: 田邊隆之 (明電舎)
 - 5) 16:00-16:40 200kW級SOFC-MGT複合発電システムの開発: 加幡達雄 (三菱重工業)
 - 6) 16:40-17:20 MCFC-GTハイブリッドの高性能化: 幸田栄一 (東京大学)
 - 7) 17:20-17:30 全体質疑とまとめ
4. 定 員 50名
5. 参 加 費 会員3,000円, 非会員5,000円, 学生1,000円
: 当日会場にてお支払いください。事前支払いの場合はその旨ご連絡ください。
6. 申込方法 E-mailにてお名前, ご所属, ご連絡先, 会員区別を明記のうえ, 11月28日(金)までに日本ガスタービン学会事務局 (gtsj@pluto.dti.ne.jp) までご連絡ください。

○本会共催・協賛・行事○

主催学協会	会合名	共催 / 協賛	開催日	会場	詳細問合せ先
日本機械学会	基礎教育講習会 - エンジン 技術の基礎と応用 (その18)	協賛	H20/11/25	日本機械学会 会議室	日本機械学会 URL : http://www.jsme.or.jp/kousyu2.htm
日本金属学会	鉄鋼材料における元素機能	協賛	H20/12/08	科学技術館 第1会議室	日本金属学会 URL : http://www.sendai.kopas.co.jp/METAL/EVENTS/subcom/index.html
日本機械学会 関西支部	第299回講習会「3次元 CAD, 自動化, 統合化, 最 適化の基礎と応用」	協賛	H20/12/03-04	大阪科学技術センター 8階 中ホール	日本機械学会関西支部 TEL : 06-6443-2073 FAX : 06-6443-6049 E-MAIL : jsme@soleil.ocn.ne.jp
日本機械学会	基礎教育講習会 - エンジン 技術の基礎と応用 (その19)	協賛	H21/01/20	大阪科学技術センター 4階 404号室	日本機械学会 URL : http://www.jsme.or.jp/kousyu2.htm



GTSJ第33期委員名簿（順不同）

○は委員長

選挙管理委員会

○遠藤 征紀（元NAL）	北條 正弘（JAXA）	福武 英紀（東芝）	長尾 健一（IHI）
室伏 宏樹（日立）	井上 俊彦（川崎重工）	安良 岡淳（三菱重工）	

将来ビジョン検討委員会

○山根 敬（JAXA）	伊東 正雄（東芝）	大北 洋治（IHI）	川上 龍太（東京電力）
杉浦 裕之（川崎重工）	高橋 俊彦（電中研）	寺本 進（東大）	百武 慎徳（三菱重工）
牧田 光正（JAXA）	圓島 信也（日立）	山田 和豊（岩手大）	

[日本ガスタービン学会誌広告掲載のご案内]

日本ガスタービン学会誌の発行部数は約2,500部、年6回、奇数月20日に発行され、会員（個人会員、賛助会員）と定期購入先に配布されます。学会誌の広告は、会誌本文と同様に重要な情報として、会員と学会誌読者に活用されています。

企業、製品、技術、書籍等のPR、求人や行事案内などにもご利用下さい。

掲載料；

後付け、白黒印刷、版下支給の場合

1p 60,000円

1/2p 35,000円

カラー、表紙および表紙対向ページの場合についてはお問い合わせ下さい。

広告掲載の受付；

下記の学会誌編集委員会事務局（委託）にお申し込み下さい。学会誌事務局でも結構です。申し込み期限は掲載号発行日の2ヵ月前です。版下がある場合は、発行日の1ヵ月前でも間に合いますので、ご相談下さい。

申込先 〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
ニッセイエプロ(株) 制作部 佐藤 孝憲 気付
日本ガスタービン学会誌編集委員会事務局
TEL：03-5733-5156 FAX：03-5733-5167

ガスタービンエンジンは、蒸気タービンによる発電と組み合わせてコンバインドサイクル発電として火力発電所において活躍しています。昨今の地球温暖化問題を背景として、世界のエネルギー供給元として、原子力発電に注目が集まっていますが、平成19年、新潟県中越沖地震により東京電力柏崎刈羽原子力発電所でトラブルが発生し、今なおその全ての原子炉は停止中であります。

原子力発電所に係わる人々は、これまでに様々な活動を通じて、安全・安心に対する取り組みを行ってきました。原子力発電所における安全対策や各種の活動は、火力発電所におけるそれとは趣が異なり、その内容は、技術開発、政策、規制、組織、住民、マスコミ、ヒューマンファクターなど、様々な観点から問題の掘り下げがなされています。主に火力発電との関わりが強いガスタービンの世界ではありますが、今後、原子力発電の重要性が増すことが予測される今、原子力に携わった人々から学ぶべき事は多いのではないのでしょうか。また、近年、安全・安心というキーワードは、全ての産業にとって切り離すことができない重要なフレーズであります。

今回の特集テーマは、「原子力発電所における安全・安心」としました。2004年4月に出された「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」の報告書によりますと、「安全・安心」の言葉について以下のような説明がありました。安全とは、人とその共同体への損傷、ならびに人、組織、公共の所有物に損害がないと客観的に判断されることである。安心については、人が知識・経験を通じて予測している状況と大きく異なる状況にならないと信じていること、自分が予想していないことは起きないと信じ何かあったとしても受容できると信じていること、と述べられています。原子力発電の世界においては「安全・安心」の意味することは、避けて通ることができないものであることが容易に想像できます。

さて、記事の内容として以下の流れに沿って、各方面の第一人者の方をご紹介頂き原稿が構成されております。まずは、(1)原子力発電所における安全・安心について東北大学未来科学技術共同研究センターの北村先生に総括していただきました。続いて(2)原子力発電所に対する安全規制について日本原子力安全基盤機構の牧野様に、(3)業界全体としての安全の取り組みについて原子力技術協会の河島様に、(4)地域社会とのリスクコミュニケーションについて電力中央研究所の土屋様に、(5)技術者倫理について金沢工業大学の大場様に、(6)大学のヒューマンファクターの研究者の立場から慶應義塾大学の高野先生に、(7)ガスタービン技術の展開について三菱重工業の宇磨谷雅英様に、お願い致しました。

最後になりましたが、本号刊行にあたり、執筆者の方々には、お忙しい中、また急な原稿依頼に対しても、快くお引き受け頂きましたことを、編集委員一同、感謝致します。

本号の企画・編集にあたっては、刑部委員（東京海洋大学）、名本委員（ダイハツディーゼル㈱）、服部委員（三井造船㈱）、そして、松尾（慶應義塾大学）が担当しました。

（松尾亜紀子）

（表紙写真）

表紙図表構成

加圧水型原子力発電所の簡易化した系統図

この図は加圧水型原子力発電所の系統構成を大幅に簡略化して示している。150気圧以上に加圧された原子炉圧力容器の中にある原子炉炉心で核分裂により生じた熱が冷却水によって蒸気発生器に移送され、そこで生成された蒸気によって、タービンが駆動される構造になっている。

（提供：(財)原子力文化振興財団、P460参照）

だより

♣事務局 ☒ ♣

今年も余すところあと1ヶ月となりました。見学会、教育シンポジウム等、恒例の行事が予定通り開催され、定期講演会も10月に無事終了いたしました。詳細に関しては次回1月号に報告記事が掲載される予定ですが、おかげさまで今年も充実した講演会・見学会となりました。講演会開催にあたっては、学術講演会委員会のメンバーが中心となり、1年半～2年位前から開催場所の検討をいたします。適当なスペースの会場確保や3日目の見学会設定等を考慮すると条件が揃う場所を見つけるのはなかなか難しく、毎回、委員の方々は苦心されています。各地のコンベンション協会の情報も強い味方となります。会場・日程等が決定した後、開催半年位前には一般講演を募り、並行してオーガナイズドセッションや特別講演、パネルディスカッションなどの企画を立案します。時宜を得た内容あるいは参加者の方が興味を抱くようなテーマを、こちらまた委員の方が情報を収集しながら会議やメール審議で検討して決定しています。ここまでお膳立てができ

れば、あとは講演者の方々から講演原稿を集め（締切日には原稿受付の事務局員（私です）の形相がちょっと？変わります）、講演論文集の作成、参加登録受付をして、ようやく本番となります。今年は、会場である日立シビックセンターが講演会前日に閉館であったため、当日朝早くから会場設営をしました。委員の皆様、本当にお疲れ様でした。また、3日目の見学会では見学先であるクリーンコールパワー研究所の皆様、そして日立製作所の皆様に、お忙しい中、見学設備の誘導、説明など、細やかに対応していただきました。どうもありがとうございます。一つの行事を終えていつも感じるのは、たくさんの方の協力のもと成り立っているなということです。そしておかげさまで、毎回、当学会の行事は好評をいただいております（手前味噌ではありますが・・・）。まだ行事に参加されたことのない会員の方は是非一度、ご参加ください。（最後は宣伝となりました・・・）

（中村）

ガスタービンエンジンは、蒸気タービンによる発電と組み合わせてコンバインドサイクル発電として火力発電所において活躍しています。昨今の地球温暖化問題を背景として、世界のエネルギー供給元として、原子力発電に注目が集まっていますが、平成19年、新潟県中越沖地震により東京電力柏崎刈羽原子力発電所でトラブルが発生し、今なおその全ての原子炉は停止中であります。

原子力発電所に係わる人々は、これまでに様々な活動を通じて、安全・安心に対する取り組みを行ってきました。原子力発電所における安全対策や各種の活動は、火力発電所におけるそれとは趣が異なり、その内容は、技術開発、政策、規制、組織、住民、マスコミ、ヒューマンファクターなど、様々な観点から問題の掘り下げがなされています。主に火力発電との関わりが強いガスタービンの世界ではありますが、今後、原子力発電の重要性が増すことが予測される今、原子力に携わった人々から学ぶべき事は多いのではないのでしょうか。また、近年、安全・安心というキーワードは、全ての産業にとって切り離すことができない重要なフレーズであります。

今回の特集テーマは、「原子力発電所における安全・安心」としました。2004年4月に出された「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」の報告書によりますと、「安全・安心」の言葉について以下のような説明がありました。安全とは、人とその共同体への損傷、ならびに人、組織、公共の所有物に損害がないと客観的に判断されることである。安心については、人が知識・経験を通じて予測している状況と大きく異なる状況にならないと信じていること、自分が予想していないことは起きないと信じ何かあったとしても受容できると信じていること、と述べられています。原子力発電の世界においては「安全・安心」の意味することは、避けて通ることができないものであることが容易に想像できます。

さて、記事の内容として以下の流れに沿って、各方面の第一人者の方をご紹介頂き原稿が構成されております。まずは、(1)原子力発電所における安全・安心について東北大学未来科学技術共同研究センターの北村先生に総括していただきました。続いて(2)原子力発電所に対する安全規制について日本原子力安全基盤機構の牧野様に、(3)業界全体としての安全の取り組みについて原子力技術協会の河島様に、(4)地域社会とのリスクコミュニケーションについて電力中央研究所の土屋様に、(5)技術者倫理について金沢工業大学の大場様に、(6)大学のヒューマンファクターの研究者の立場から慶應義塾大学の高野先生に、(7)ガスタービン技術の展開について三菱重工業の宇磨谷雅英様に、お願い致しました。

最後になりましたが、本号刊行にあたり、執筆者の方々には、お忙しい中、また急な原稿依頼に対しても、快くお引き受け頂きましたことを、編集委員一同、感謝致します。

本号の企画・編集にあたっては、刑部委員（東京海洋大学）、名本委員（ダイハツディーゼル㈱）、服部委員（三井造船㈱）、そして、松尾（慶應義塾大学）が担当しました。

（松尾亜紀子）

（表紙写真）

表紙図表構成

加圧水型原子力発電所の簡易化した系統図

この図は加圧水型原子力発電所の系統構成を大幅に簡略化して示している。150気圧以上に加圧された原子炉圧力容器の中にある原子炉炉心で核分裂により生じた熱が冷却水によって蒸気発生器に移送され、そこで生成された蒸気によって、タービンが駆動される構造になっている。

（提供：(財)原子力文化振興財団、P460参照）

だより

♣事務局 ☒ ♣

今年も余すところあと1ヶ月となりました。見学会、教育シンポジウム等、恒例の行事が予定通り開催され、定期講演会も10月に無事終了いたしました。詳細に関しては次回1月号に報告記事が掲載される予定ですが、おかげさまで今年も充実した講演会・見学会となりました。講演会開催にあたっては、学術講演会委員会のメンバーが中心となり、1年半～2年位前から開催場所の検討をいたします。適当なスペースの会場確保や3日目の見学会設定等を考慮すると条件が揃う場所を見つけるのはなかなか難しく、毎回、委員の方々は苦心されています。各地のコンベンション協会の情報も強い味方となります。会場・日程等が決定した後、開催半年位前には一般講演を募り、並行してオーガナイズドセッションや特別講演、パネルディスカッションなどの企画を立案します。時宜を得た内容あるいは参加者の方が興味を抱くようなテーマを、こちらもまた委員の方が情報を収集しながら会議やメール審議で検討して決定しています。ここまでお膳立てができ

れば、あとは講演者の方々から講演原稿を集め（締切日には原稿受付の事務局員（私です）の形相がちょっと？変わります）、講演論文集の作成、参加登録受付をして、ようやく本番となります。今年は、会場である日立シビックセンターが講演会前日に閉館であったため、当日朝早くから会場設営をしました。委員の皆様、本当にお疲れ様でした。また、3日目の見学会では見学先であるクリーンコールパワー研究所の皆様、そして日立製作所の皆様に、お忙しい中、見学設備の誘導、説明など、細やかに対応していただきました。どうもありがとうございます。一つの行事を終えていつも感じるのは、たくさんの方の協力のもと成り立っているなということです。そしておかげさまで、毎回、当学会の行事は好評をいただいております（手前味噌ではありますが・・・）。まだ行事に参加されたことのない会員の方は是非一度、ご参加ください。（最後は宣伝となりました・・・）

（中村）

ガスタービンエンジンは、蒸気タービンによる発電と組み合わせてコンバインドサイクル発電として火力発電所において活躍しています。昨今の地球温暖化問題を背景として、世界のエネルギー供給元として、原子力発電に注目が集まっていますが、平成19年、新潟県中越沖地震により東京電力柏崎刈羽原子力発電所でトラブルが発生し、今なおその全ての原子炉は停止中であります。

原子力発電所に係わる人々は、これまでに様々な活動を通じて、安全・安心に対する取り組みを行ってきました。原子力発電所における安全対策や各種の活動は、火力発電所におけるそれとは趣が異なり、その内容は、技術開発、政策、規制、組織、住民、マスコミ、ヒューマンファクターなど、様々な観点から問題の掘り下げがなされています。主に火力発電との関わりが強いガスタービンの世界ではありますが、今後、原子力発電の重要性が増すことが予測される今、原子力に携わった人々から学ぶべき事は多いのではないのでしょうか。また、近年、安全・安心というキーワードは、全ての産業にとって切り離すことができない重要なフレーズであります。

今回の特集テーマは、「原子力発電所における安全・安心」としました。2004年4月に出された「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」の報告書によりますと、「安全・安心」の言葉について以下のような説明がありました。安全とは、人とその共同体への損傷、ならびに人、組織、公共の所有物に損害がないと客観的に判断されることである。安心については、人が知識・経験を通じて予測している状況と大きく異なる状況にならないと信じていること、自分が予想していないことは起きないと信じ何かあったとしても受容できると信じていること、と述べられています。原子力発電の世界においては「安全・安心」の意味することは、避けて通ることができないものであることが容易に想像できます。

さて、記事の内容として以下の流れに沿って、各方面の第一人者の方をご紹介頂き原稿が構成されております。まずは、(1)原子力発電所における安全・安心について東北大学未来科学技術共同研究センターの北村先生に総括していただきました。続いて(2)原子力発電所に対する安全規制について日本原子力安全基盤機構の牧野様に、(3)業界全体としての安全の取り組みについて原子力技術協会の河島様に、(4)地域社会とのリスクコミュニケーションについて電力中央研究所の土屋様に、(5)技術者倫理について金沢工業大学の大場様に、(6)大学のヒューマンファクターの研究者の立場から慶應義塾大学の高野先生に、(7)ガスタービン技術の展開について三菱重工業の宇磨谷雅英様に、お願い致しました。

最後になりましたが、本号刊行にあたり、執筆者の方々には、お忙しい中、また急な原稿依頼に対しても、快くお引き受け頂きましたことを、編集委員一同、感謝致します。

本号の企画・編集にあたっては、刑部委員（東京海洋大学）、名本委員（ダイハツディーゼル㈱）、服部委員（三井造船㈱）、そして、松尾（慶應義塾大学）が担当しました。

（松尾亜紀子）

（表紙写真）

表紙図表構成

加圧水型原子力発電所の簡易化した系統図

この図は加圧水型原子力発電所の系統構成を大幅に簡略化して示している。150気圧以上に加圧された原子炉圧力容器の中にある原子炉炉心で核分裂により生じた熱が冷却水によって蒸気発生器に移送され、そこで生成された蒸気によって、タービンが駆動される構造になっている。

（提供：(財)原子力文化振興財団、P460参照）

だより

♣事務局 ☒ ♣

今年も余すところあと1ヶ月となりました。見学会、教育シンポジウム等、恒例の行事が予定通り開催され、定期講演会も10月に無事終了いたしました。詳細に関しては次回1月号に報告記事が掲載される予定ですが、おかげさまで今年も充実した講演会・見学会となりました。講演会開催にあたっては、学術講演会委員会のメンバーが中心となり、1年半～2年位前から開催場所の検討をいたします。適当なスペースの会場確保や3日目の見学会設定等を考慮すると条件が揃う場所を見つけるのはなかなか難しく、毎回、委員の方々は苦心されています。各地のコンベンション協会の情報も強い味方となります。会場・日程等が決定した後、開催半年位前には一般講演を募り、並行してオーガナイズドセッションや特別講演、パネルディスカッションなどの企画を立案します。時宜を得た内容あるいは参加者の方が興味を抱くようなテーマを、こちらもまた委員の方が情報を収集しながら会議やメール審議で検討して決定しています。ここまでお膳立てができ

れば、あとは講演者の方々から講演原稿を集め（締切日には原稿受付の事務局員（私です）の形相がちょっと？変わります）、講演論文集の作成、参加登録受付をして、ようやく本番となります。今年は、会場である日立シビックセンターが講演会前日に閉館であったため、当日朝早くから会場設営をしました。委員の皆様、本当にお疲れ様でした。また、3日目の見学会では見学先であるクリーンコールパワー研究所の皆様、そして日立製作所の皆様に、お忙しい中、見学設備の誘導、説明など、細やかに対応していただきました。どうもありがとうございます。一つの行事を終えていつも感じるのは、たくさんの方の協力のもと成り立っているなあということです。そしておかげさまで、毎回、当学会の行事は好評をいただいております（手前味噌ではありますが・・・）。まだ行事に参加されたことのない会員の方は是非一度、ご参加ください。（最後は宣伝となりました・・・）

（中村）

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。
 - A. 投稿原稿(会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。)
 - B. 依頼原稿(本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。)
 - C. 学会原稿(学会の運営・活動に関する記事(報告、会告等)および学会による調査・研究活動の成果等の報告。)
2. 依頼原稿および投稿原稿は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説、講義、技術論文、速報(研究速報、技術速報)、寄書(研究だより、見聞記、新製品・新設備紹介)、随筆、書評、情報欄記事、その他とする。刷り上がりページ数は原則として、1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説、講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書、随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。
4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。
5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。
6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。
7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し、著作者自身または著作者が帰属する法人等が、自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載、翻訳・翻案などの形で利用する場合、本会では原則としてこれを妨げない。ただし、著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は、文書で本会に許諾を求めなければならない。

8. 著作者は、学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。
9. 本会発行の著作物に掲載された記事、論文などの著作物について、著作権侵害者、名誉毀損、またはその他の紛争が生じた場合、当該著作物の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5156 Fax. 03-5733-5167
ニッセイエブロ(株) 制作部 編集制作課
E-mail: eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当 佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
 - 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合、および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお、原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌 Vol.36 No.6 2008.11

発行日 2008年11月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 福山佳孝
発行者 並木正夫
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
(普)1703707
印刷所 ニッセイエブロ(株)
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5156 Fax. 03-5733-5167

©2008, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会では下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し(株)日本複写権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。(社外頒布用の複写は許諾が必要です。)

権利委託先: (中法) 学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話 (03) 3475-5618 FAX (03) 3475-5619
E-mail: info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。
 - A. 投稿原稿(会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。)
 - B. 依頼原稿(本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。)
 - C. 学会原稿(学会の運営・活動に関する記事(報告、会告等)および学会による調査・研究活動の成果等の報告。)
2. 依頼原稿および投稿原稿は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説、講義、技術論文、速報(研究速報、技術速報)、寄書(研究だより、見聞記、新製品・新設備紹介)、随筆、書評、情報欄記事、その他とする。刷り上がりページ数は原則として、1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説、講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書、随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。
4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。
5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。
6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。
7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し、著作者自身または著作者が帰属する法人等が、自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載、翻訳・翻案などの形で利用する場合、本会では原則としてこれを妨げない。ただし、著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は、文書で本会に許諾を求めなければならない。

8. 著作者は、学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。
9. 本会発行の著作物に掲載された記事、論文などの著作物について、著作権侵害者、名誉毀損、またはその他の紛争が生じた場合、当該著作物の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5156 Fax. 03-5733-5167
ニッセイエブロ(株) 制作部 編集制作課
E-mail: eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当 佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
 - 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合、および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお、原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌 Vol.36 No.6 2008.11

発行日 2008年11月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 福山佳孝
発行者 並木正夫
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
(普)1703707
印刷所 ニッセイエブロ(株)
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5156 Fax. 03-5733-5167

©2008, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会では下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し(株)日本複写権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。(社外頒布用の複写は許諾が必要です。)

権利委託先: (中法) 学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話 (03) 3475-5618 FAX (03) 3475-5619
E-mail: info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。
 - A. 投稿原稿(会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。)
 - B. 依頼原稿(本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。)
 - C. 学会原稿(学会の運営・活動に関する記事(報告、会告等)および学会による調査・研究活動の成果等の報告。)
2. 依頼原稿および投稿原稿は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説、講義、技術論文、速報(研究速報、技術速報)、寄書(研究だより、見聞記、新製品・新設備紹介)、随筆、書評、情報欄記事、その他とする。刷り上がりページ数は原則として、1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説、講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書、随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。
4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。
5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。
6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。
7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し、著作者自身または著作者が帰属する法人等が、自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載、翻訳・翻案などの形で利用する場合、本会では原則としてこれを妨げない。ただし、著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は、文書で本会に許諾を求めなければならない。

8. 著作者は、学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。
9. 本会発行の著作物に掲載された記事、論文などの著作物について、著作権侵害者、名誉毀損、またはその他の紛争が生じた場合、当該著作物の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5156 Fax. 03-5733-5167
ニッセイエブロ(株) 制作部 編集制作課
E-mail: eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当 佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
 - 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合、および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお、原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌 Vol.36 No.6 2008.11

発行日 2008年11月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 福山佳孝
発行者 並木正夫
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
(普)1703707
印刷所 ニッセイエブロ(株)
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5156 Fax. 03-5733-5167

©2008, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会では下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し(株)日本複写権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。(社外頒布用の複写は許諾が必要です。)

権利委託先: (中法) 学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話 (03) 3475-5618 FAX (03) 3475-5619
E-mail: info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。
 - A. 投稿原稿(会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。)
 - B. 依頼原稿(本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。)
 - C. 学会原稿(学会の運営・活動に関する記事(報告、会告等)および学会による調査・研究活動の成果等の報告。)
2. 依頼原稿および投稿原稿は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説、講義、技術論文、速報(研究速報、技術速報)、寄書(研究だより、見聞記、新製品・新設備紹介)、随筆、書評、情報欄記事、その他とする。刷り上がりページ数は原則として、1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説、講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書、随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。
4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。
5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。
6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。
7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し、著作者自身または著作者が帰属する法人等が、自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載、翻訳・翻案などの形で利用する場合、本会では原則としてこれを妨げない。ただし、著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は、文書で本会に許諾を求めなければならない。

8. 著作者は、学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。
9. 本会発行の著作物に掲載された記事、論文などの著作物について、著作権侵害者、名誉毀損、またはその他の紛争が生じた場合、当該著作物の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5156 Fax. 03-5733-5167
ニッセイエブロ(株) 制作部 編集制作課
E-mail: eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当 佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
 - 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合、および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお、原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌 Vol.36 No.6 2008.11

発行日 2008年11月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 福山佳孝
発行者 並木正夫
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
(普)1703707
印刷所 ニッセイエブロ(株)
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5156 Fax. 03-5733-5167

©2008, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会では下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し(株)日本複写権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。(社外頒布用の複写は許諾が必要です。)

権利委託先: (中法) 学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話 (03) 3475-5618 FAX (03) 3475-5619
E-mail: info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

GTSJ ガスタービンセミナー（第37回）のお知らせ

「ガスタービンのモニタリング技術および環境対策技術の最新動向」をテーマに、第37回ガスタービンセミナーを下記の通り開催いたします。学会の会員、非会員を問わず、皆様のご参加をお待ちしております。

1. 日 時 : 平成21年1月22日(木) 9:30~17:20 (受付開始9:00)
1月23日(金) 9:30~17:00
2. 場 所 : (株)東芝 本社ビル(地図参照)
港区芝浦1-1-1 (JR浜松町駅より徒歩7分)
3. 主 催 : (社)日本ガスタービン学会
4. 協 賛 : エネルギー・資源学会, 火力原子力発電技術協会, 計測自動制御学会, 高温学会, 自動車技術会, ターボ機械協会, 電気学会, 日本エネルギー学会, 日本ガス協会, 日本機械学会, 日本金属学会, 日本コージェネレーションセンター, 日本航空宇宙学会, 日本航空技術協会, 日本材料学会, 日本セラミックス協会, 日本鉄鋼協会, 日本伝熱学会, 日本内燃機関連合会, 日本内燃力発電設備協会, 日本燃焼学会, 日本マリンエンジニアリング学会, 日本非破壊検査協会, 日本品質管理学会, 腐食防食協会, 溶接学会

5. セミナープログラム テーマ:「ガスタービンのモニタリング技術および環境対策技術の最新動向」

第1日目〔1月22日(木)〕

※講演時間には質疑応答の時間を含む。

「セッションⅠ：モニタリング技術の最新動向」			
1	事業用発電設備の遠隔監視による異常診断・予防保全技術	9:30-10:30	(株)日立製作所 林 喜 治 氏
2	中小型ガスタービンコージェネレーション設備の遠隔監視技術	10:30-11:30	(株)IHI 阿久津 貴之 氏
3	マイクロガスタービンコージェネレーションシステムの遠隔監視による故障診断・予防保全	13:00-14:00	(株)荏原製作所 岸 川 忠 彦 氏
4	エアラインにおけるエンジン・モニタリング手法	14:00-15:00	全日本空輸(株) 中村 哲郎 氏、塚本 康二 氏
「セッションⅡ：最新ガスタービンの事例」			
5	航空転用形ガスタービンの最新動向	15:20-16:20	(株)IHI 米 澤 克 夫 氏
6	大型機用エンジン(XF7)の研究概要	16:20-17:20	防衛省 山 根 喜 三 郎 氏

第2日目〔1月23日(金)〕

「セッションⅢ：環境対策技術の最新動向」			
7	CO ₂ 回収型火力発電の最新動向と次世代発電システムの開発	9:30-10:30	(財)電力中央研究所 犬 丸 淳 氏
8	木質バイオマス流動層ガス化発電システムの開発	10:30-11:30	カワサキプラントシステムズ(株) 松 田 吉 洋 氏
9	PBMR用ヘリウムタービンの概要	13:00-14:00	三菱重工業(株) 宇 磨 谷 雅 英 氏
10	マイクロガスタービンを用いたVOC処理システムの開発	14:00-14:40	(株)トヨタ タービン アンド システム 馬 野 博 光 氏
「パネルディスカッション」			
11	ガスタービンとCO ₂ 排出削減の展望	15:00-17:00	[座長] (独)産業技術総合研究所 西 尾 匡 弘 氏

6. セミナーの内容

(1) 「事業用発電設備の遠隔監視による異常診断・予防保全技術」

((株)日立製作所 林 喜治 氏)

近年のIT技術の発達、特にインターネット等の通信技術の発達と普及により、大容量のデータ通信が低コストで実現できるようになった。当社では、発電設備へIT技術を応用し、遠隔での監視診断や保守作業を支援するシステムを構築している。遠隔監視システムの概要と、システムを構成する発電プラント/ガスタービンの性能診断機能、ガスタービン高温部品の余寿命診断機能等の要素機能について紹介する。

(2) 「中小型ガスタービンコージェネレーション設備の遠隔監視技術」

((株) IHI 阿久津 貴之 氏)

ガスタービン発電設備の効率的な運用、故障診断および予防保全の目的で遠隔監視装置を活用することが期待されている。遠隔監視装置に蓄積されたデータから、プラント運用の長期的及び短期的なトレンドを分析、評価することで故障診断、予防保全を行うことが可能となる。現在、プラントにおける過去の運転状況と現在の運転状況を比較して故障の兆候の有無を自動的に判断するシステム開発が行われている。本稿では、中小型ガスタービンコージェネレーション設備の遠隔監視システムとその開発状況を紹介する。

(3) 「マイクロガスタービンコージェネレーションシステムの遠隔監視による故障診断・予防保全」

((株)荏原製作所 岸川 忠彦 氏)

小規模分散型発電装置であるマイクロガスタービンには、専任オペレータや保守要員が配置されることは少なく、一方で高い稼働信頼性、毎日起動・停止運用での高起動信頼性、低メンテナンスコストが要求される。これに答えるには、機器の高品質と高耐久性と共に予防保全や故障時の迅速な診断による早期復旧が重要なファクターとなる。ここでは、当社のマイクロガスタービンに標準装備している遠隔監視システムに関して、その構成と機能及び高速過渡データを用いた故障診断手法や長期間トレンドデータを用いた予防保全手法等、いくつかの事例を紹介する。

(4) 「エアラインにおけるエンジン・モニタリング手法」

(全日本空輸(株) 中村 哲郎 氏、塚本 康二 氏)

オン・コンディション方式を前提として設計されている現在の民間航空機用ガスタービンエンジンでは、モニタリング手法が信頼性を維持する上で不可欠であり重要な役割を果たしている。機体やエンジンのパラメータを採取する方法や解析・判定方法も絶え間なく進歩している。各種モニタリング手法とシステムの概要、不具合の予兆発見の実例と今後の展望をエアラインの立場から紹介する。

(5) 「航空転用形ガスタービンの最新動向」

((株) IHI 米澤 克夫 氏)

航空転用形ガスタービンは発電端効率が高く、軽量コンパクトな特徴を有し、コンバインドサイクル、コージェネの場合、HRSG等を小型化でき、短納期、狭い設置場所への対応が可能である。発停回数に対する耐久性が高く、起動、停止時間が短い特徴も有し、ピークカットあるいは特定規模電気事業者向けとして、連続運用、Weekly またはDaily Start and Stop等の様々な運用形態に対応できる。本稿では、代表的な航空転用形ガスタービンであるGE社製LM2500、LM6000の概要と最新動向を紹介する。

(6) 「大型機用エンジン(XF7)の研究概要」

(防衛省 山根 喜三郎 氏)

防衛省技術研究本部が試作したXF7は、防衛用大型航空機への適用を目指して研究を実施した推力60kN、バイパス比8クラスの高バイパス比ターボファンエンジンである。XF7は試験試作機用として搭載可能なことを確認する試験を平成19年8月に完了し、現在は次期固定翼哨戒機(XP-1)の開発の一環として、本研究の成果を反映した認定試験を実施している。本セミナーではこれまでに実施してきたXF7の研究概要について紹介する。

(7) 「CO2回収型火力発電の最新動向と次世代発電システムの開発」

((財)電力中央研究所 犬丸 淳 氏)

低炭素社会実現に向けた中長期的な対策オプションの一つとして、炭酸ガスの分離回収・貯留(CCS)の導入に向けた動きが活発化している。しかしながら、現在考えられているCO2回収型発電システムは、発電効率の大幅な低下やコスト上昇が大きな課題となっており、それらを解決する革新的な発電システムの開発が望まれている。本講演では、CO2回収型火力発電の概要と開発動向を述べるとともに、新たな将来オプションとして、高効率石炭ガス化技術を中心とする「CO2回収型次世代IGCCシステム」について紹介する。

(8) 「木質バイオマス流動層ガス化発電システムの開発」

(カワサキプラントシステムズ(株) 松田 吉洋 氏)

地球温暖化対策の一つとしてバイオマスエネルギーは積極的な利用が求められている。しかし、製材所木屑、林地残材などの木質バイオマスは、山間部に広く分布し嵩高いという特徴のため長距離輸送に適さず、利用するにはその場所での集積量・エネルギー需要量に見合った小規模で高効率な設備の普及が不可欠である。流動層ガス化発電システムは、加圧流動層ガス化炉とガスタービン発電機を組み合わせることにより、従来に比べ効率的に未利用バイオマスをエネルギー転換することが可能な小規模分散型発電システムである。本発表では、新しく開発したガス化発電システムの仕様と特長、および現在高知県にて実施している実証試験の概要について述べる。

(9) 「PBM用ヘリウムタービンの概要」

(三菱重工業(株) 宇摩谷 雅英 氏)

PBM(Pebble Bed Modular Reactor)炉は、冷却材としてヘリウムガスを用いる高温ガス炉で、原子エネルギーを約900℃の高温で利用することで、原子力発電の高効率化の他、原子力による水素製造などへの応用が期待されている。南アフリカ政府は、広大な国土をカバーできる分散型電源として、CO₂の排出を抑制できるPBM発電システムを次世代電源の一つとして捉え、開発を推進している。本講演では、このPBM発電システム用のヘリウムガスタービンの開発、設計について紹介する。

(10) 「マイクロガスタービンを用いたVOC処理システムの開発」

(株)トヨタ タービン アンド システム 馬野 博光 氏

近年、SPM(浮遊粒子状物質)や光化学オキシダントの生成要因となるVOC(揮発性有機化合物)の排出に対する法規制が強化されており、それに伴い様々なVOC削減方式およびツールが提案されている。本講演では、VOC排出規制と処理技術の現況を紹介すると共に、当社が開発したマイクロガスタービンコージェネシステムを応用したVOC処理システムの概要および稼働状況について紹介する。

(11) パネルディスカッション「ガスタービンとCO₂排出削減の展望」

(独)産業技術総合研究所 西尾 匡弘 氏

世界的な温室効果ガス削減の第一歩として京都議定書の第一約束期間が始まって一年になろうとしている。現状では、我が国の排出削減義務は1990年比で6%減であるが、国際的な議論の中で我が国が提唱した「2050年に現状の半減」という中長期的な削減目標を達成するためには、より大幅な削減を実現しなければならないことは自明である。特に、化石資源に由来するCO₂の発生量の半分以上が火力発電所から発生している現状に鑑みると、ガスタービンに関連するCO₂削減の方向性を見極めることは非常に重要である。本パネルディスカッションでは、CO₂削減の本質的な方向性である、省エネルギー、新エネルギーおよびCO₂の回収貯留技術などの対応について、その動向と将来性について意見交換を行う。

7. 参加要領

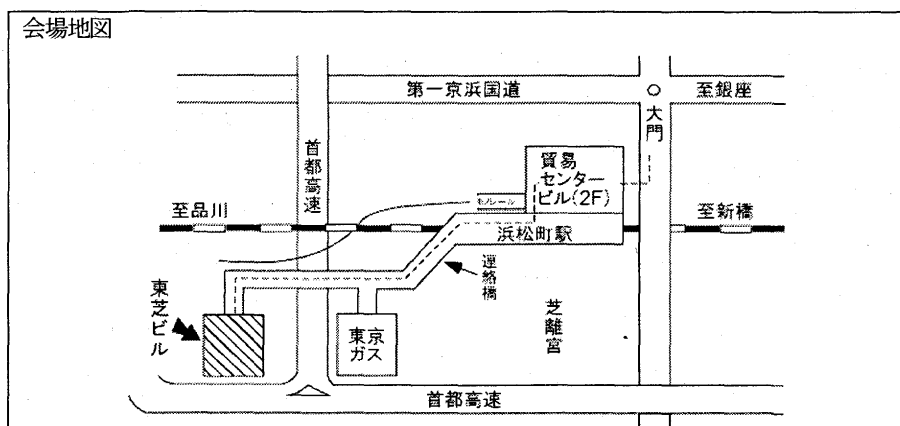
- 1) 参加費 : ◆主催および協賛団体会員 2日間 25,000円 1日のみ 18,000円
◆学生会員 5,000円
◆会員外 2日間 35,000円 1日のみ 25,000円
◆会員外(学生) 8,000円
◆資料のみ 1冊 5,000円(残部ある場合)

- 2) 申込方法: 申込書に所属、氏名、加入学協会名、GTSJ会員は会員番号等必要事項を明記の上、下記事務局宛 平成21年1月16日(金)までにお送り下さい。
(ホームページからも申込ができます)
また、参加費につきましては平成21年1月20日(火)までに以下の方法にてお支払い下さい。
支払い期日に間に合わない場合には 事務局までご連絡ください。
・郵便振替 00170-9-179578 (日本ガスタービン学会)
・銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店 (普) 1703707 (日本ガスタービン学会)
・現金書留

- 3) 事務局 : (社)日本ガスタービン学会

〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13-402
Tel.03-3365-0095 Fax.03-3365-0387
URL <http://www.soc.nii.ac.jp/gtsj/> E-Mail gtsj@pluto.dti.ne.jp

資料集・ネームカードは当日受付にてお渡しします。



第37回ガスタービンセミナー

(平成21年1月22, 23日)

申込書

(社) 日本ガスタービン学会 行

FAX 03-3365-0387

TEL 03-3365-0095

会社名	
所在地	〒
TEL	
FAX	

参加者名 (所在地・連絡先が所属により異なる場合には、本用紙をコピーして別シートにご記入下さい。)

フリガナ 氏 名	所 属	TEL FAX E-MAIL	所属学協会 GTSJの方は会員 No. をご記入下さい	参加日 〇印をつけて下さい
				22・23
				22・23
				22・23
				22・23
				22・23

【事務局への連絡事項】

	2日間	人数	1日のみ	人数	合計金額
正 会 員	25,000円		18,000円		円
学 生 員	5,000円		5,000円		円
会 員 外	35,000円		25,000円		円
支払予定日： 月 日				支払金額	円
払込方法：(〇をつけてください。) - 銀行振込 (みずほ銀行 新宿西口支店 普通 1703707) - 郵便振替 (00170-9-179578) - 現金書留					
*口座名はいずれも「(社)日本ガスタービン学会」です。					
請求書の発行：		要 (宛名：) ・ 不要			
領収証の発行 (当日お渡しします)：		要 (宛名：) ・ 不要			