

目次

1. 寄稿	1
1.1 原子力の光と影 —危ないものを危ないものとして扱う— (鯨光会 2012 年 8 月 10 日講演要旨)	2
1.2 大学で 40 年余 原子力工学の教育・研究に携わって —特に助手時代を振り返って— (第 53 号「百華」原稿 2013 年 8 月)	6
1.3 原子力工学の教育・研究 —福島第一原子力発電所事故の反省— (学術の動向 2015 年 2 月号 特集 福島原子力事故 PART2)	15
2. Web より	19
2.1 原発・エネルギーの今後 危ないものを危ないものとして扱う (日本科学未来館 HP アーカイブ Case 3.11 原発・エネルギー)	20
2.2 「実世界データ循環学リーダー人材養成プログラム」 履修生に向けて (名古屋大学 HP 博士課程教育リーディングプログラム スタッフ 紹介インタビュー)	23
2.3 新英語教育とその成果について (国際教育交換協議会(CIEE)日本代表部 HP TOEFL テスト日本事務 局 TOEFL メールマガジン VOL. 89)	25
3. 講義資料	31
4. 著書論文一覧	33

1. 寄稿

1.1 原子力の光と影

—危ないものを危ないものとして扱う—

(鯨光会 2012 年 8 月 10 日講演要旨)

本日は、「原子力の光と影---危ないものを危ないものとして扱う---」という題でお話しします。まず、原子力の特徴（これは光）を述べ、次に、「放射線」が分かりにくい理由、そして、自然エネルギーの限界、最後に、原子力に内在する問題点（こちらは影）をどのように克服するかを説明します。

狭い意味での原子力は、核分裂と核融合から得られるエネルギーを指しますが、広い意味では放射線、粒子線の利用も含めて考えます。原子力は、質量がエネルギーと等価であるというアインシュタインの有名な式「 $E = mc^2$ 」が原理です。核融合の場合、例えば重水素と三重水素が融合してヘリウムと中性子になりますが、融合前の水素の質量の合計と、融合後のヘリウムと中性子の質量の合計とを比較すると、融合後のほうがわずかに小さい。この減った質量が、アインシュタインの式でエネルギーに変わります。核分裂の場合、例えばウラン 235 に中性子が衝突して核分裂し、バリウムとクリプトンなどの核分裂成物と数個の中性子になる。分裂前後の質量の合計を比較すると、分裂後のほうがわずかに小さい。この減った質量がエネルギーになるのです。この核分裂 1 回で、約 200 MeV（メガ・エレクトロン・ボルト）の発生があるのですが、化学エネルギーの代表である水素の燃焼で水ができるときの発生エネルギー 2.96 eV と比較すると、メガ（10 の 6 乗）、すなわち、100 万倍のオーダーの差があることがわかります。化石燃料の燃焼、つまり化学反応で得られるエネルギーは、eV オーダーなので、質量がエネルギーに転化する原子力の凄まじさが分かります。これが原子力の良いところであり、また、恐ろしいところでもあり、取り扱いを間違えれば、もともと危ないものです。これを制御して安全にするのが原子力工学で、「危ないものを危ないものとして扱う」のが基本です。

必要になる燃料の量が極めて少ない、という原子力の特徴から、備蓄が可能となり、さらには廃棄物の量も極めて少ないというメリットが生じます。これに加えて、ウラン資源は石油ほど偏在していませんから、国家間の紛争の影響を受けにくい。また、環境問題からは、発電の際に二酸化炭素を排出しないという、別の長所もあります。さらに、使用済み核燃料を再処理してプルトニウムを取り出せば、数千年分の燃料資源が存在することになり、資源問題が一挙に解決します。日本が太平洋戦争に突き進んでいった大きな原因の一つにエネルギー資源の獲得があり、侵略に繋がったわけですが、戦争後に生まれた団塊世代に属する私は、少なくとも日本が他国に戦争を仕掛けなくて済むようにしたかった。そこで、日本の、ひいては世界のエネルギー源確保に貢献しようと原子力を生涯の仕事に選んだのです。

これまで原子力は、日本のエネルギーを支えることで、産業や国民の生活に寄与してきたと思います。しかし、昨年 3 月 11 日の東北大地震で、東京電力福島第一原子力発電所の事故が起きました。地震には耐えましたが、津波にやられました。極めて多数の住民が家を離れて避難せざるを得なくなったことは、慙愧に堪えません。しかし、福島より津波の高かった東北電

カ女川原子力発電所や、茨城県東海村の日本原子力発電・東海第2発電所は健全に保たれたのですから、福島でもちゃんと手当てができていれば、これほどの事故にならずに済んだと思います。少ない燃料から莫大なエネルギーの原子力の特徴から、安全に対して日本全体で1兆円投資したにしても、電力料金には1 kW/h あたり 0.1 円の増加にしかありません。東京電力に油断があった、と思えてなりません。これまで日本の産官学が力を合わせて保ってきた原子力の安全が、一種の怠慢により崩れたことを、実に悔しく思います。原子力の安全は、設計、製造・建設、運転・管理全てが機能して初めて担保されます。「危ないものを危ないものとして扱う」現場感覚が衰退し、3月11日まで、曲がりなりにも安全が保たれた故か、規制値の意味を忘却したのではないかと懼れます。どうしてそのように設計し、製造し、運転しなければいけないか、原理的、工学的に譲れない部分の理解と実感が薄れてきたのではないかと、思います。

「放射線」が分かりにくい根本的理由は、放射線が見えないことだと考えますが、放射線に関する単位が多すぎること、単位に桁を表す接頭語が付いている場合が多いこと、また、数字の桁が大きすぎることなどが、分かりにくさを増大していると思います。地球上の生命は、年間平均 2.4 mSv（ミリシーベルト）の自然放射線を浴びていますし、ラムサール条約で有名なイランのラムサール市の一部では、年間 100 mSv の自然放射能があり、また、一般的にも 100 mSv より低い被曝量で健康被害が生じた例はないのですが、そうは言っても怖いものは怖いのは、当然なことだとも思います。しかし、昨年の福島事故で避難を余儀なくされた地域のかなりの部分は、放射線の数値上では、より早期に自宅へ戻る事が可能であったことも事実です。大きな反省点だとも思います。

自然エネルギーの開発が進めば、化石エネルギーや原子力に頼らずともやっていける、と漠然と感じている人が多いようですが、果たしてそうでしょうか？太陽光も風力も、それぞれ自然任せで、欲しいときに電気が得られるわけではありません。地熱もバイオマスも、いろいろと問題があります。これらの問題の中には、技術革新が進めば解決するものもありますが、原理的に解決できないことがあります。それは、エネルギーの密度が小さいこと。自然エネルギーの大元は、太陽から得られます。快晴時には、1平方メートルあたり約1 kW のエネルギーが地上に届きます。日本中が快晴のお昼頃、日本の家屋の屋根すべてに太陽電池が設置され、その光から電気への変換効率が 100 %だとしても、最大消費電力の 10 倍程度にしかありません。実際には効率は十数パーセントしかありませんし、日本中が快晴であるケースは稀にしかありませんから、太陽の光だけで日本の電力を賄うことは、事実上、不可能なのです。（もし、効率が 100 %に近付いたら、太陽熱がほとんど電池に吸収されて、辺りは涼しくなるはずですが。）知多半島に中部電力の「メガソーラーたけとよ」があります。もともと数十万キロワットの火力発電所を作る予定の敷地いっぱいには設置されたものですが、ここの1年分の総発電量は、衣浦湾を挟んで建設されている碧南石炭火力発電所の数時間分の発電量にしかありません。メガソーラーから対岸の石炭火力発電所が良く見えますが、ここに立つと自然エネルギーの密度の小ささが実感されます。自然エネルギーは、その密度が小さいことから、発電コストが高くつきます。このため、自然エネルギー先進のヨーロッパでも、電気料金を値上げせざるを得ず、苦戦しています。

次に原子力発電に関わるいくつかの問題（影の部分ですね）について触れたいと思います。

原子力発電所の燃料は、ウラン燃料が主ですが、核分裂しやすいウラン 235 は天然には 0.72 %

しか存在しません。残りの99.28%はウラン238ですが、原子炉へはウラン235を3~5%に濃縮した燃料を用います。平和利用のための、このウラン濃縮技術を転用すれば、核兵器用高濃縮ウラン(ウラン235が95%以上)の製造も可能で、広島に落とされた原爆はこのタイプです。北朝鮮、イラン等もウラン濃縮を目指しており、核兵器生産に疑念があることはご存じだと思いますが、日本は国際原子力機関IAEAの査察を受け入れて「平和利用のためだけのウラン濃縮」を証明し、世界の疑念を払拭しています。

原子炉の中ではウラン238が核分裂で発生した中性子を吸収して、プルトニウム239になります。このプルトニウム239もウラン235と同じように核分裂しやすく、実際、原子炉で発電する3分の1はプルトニウムの核分裂によるものです。プルトニウム239が核分裂しやすいということは、原爆の原料になることを意味し、長崎に落とされた原爆や、北朝鮮が最初に作った原爆はプルトニウム型です。また、プルトニウムが天然にはほとんど存在しないために、何となく恐ろしく感じられるせいか、悪魔の元素と呼ばれたこともあります。確かにウランと比較すると、重さあたりの放射能は大きいものの、天然のラジウムのそれよりも小さく、生物学的毒性もラジウムと同等で、特に悪魔の元素と呼ぶ根拠はありません。また、原子炉から取り出した使用済み核燃料を化学処理(これを再処理と呼びます)して取り出したプルトニウムには、核分裂しやすいプルトニウム239、241以外に、核分裂しにくいプルトニウム240、242が多く含まれ、原爆の材料としては適しません。そこで、テロリストが強奪しても簡単には兵器にはなりません。再処理して取り出したプルトニウムを上手に使えば、その原料はウラン238ですから、現在のウラン235利用を中心に考える資源量が100年分程度のところ、238利用であれば数千年の資源量であることを付け加えます。エネルギー資源の乏しい日本で、再処理を含めた核燃料サイクル確立に努力しなければいけない理由がここにあります。

再処理すると燃え残りのウラン、プルトニウムが得られ、リサイクル利用できますが、これと併せて核分裂生成物(所謂「死の灰」)が残ります。核分裂生成物は放射能レベルが高く、このため「高レベル放射性廃棄物」と呼ばれます。原子燃料の量は、前にも述べたとおり化石燃料の百万分の1のオーダーですから、高レベル廃棄物の量もそれに比例して小さく、全量を管理することが可能です。現在、核分裂生成物をガラスに溶かし込んで、それを分厚い金属製のキャニスターに閉じ込め、それを地下数百メートルの岩盤中に処分するための技術開発が進んでいます。人工的(工学的)なバリアで数千年以上閉じ込め、岩盤の天然バリアで数十万年以上閉じ込めようとする方法です。高レベル廃棄物の放射能も数万年で天然レベルに戻りますから、これくらいの期間、生物圏から隔離できれば大丈夫です。高レベル廃棄物の処分について、超長寿命(半減期が100万年、1000万年、1億年のオーダー)の廃棄物なので、子孫の時代を超えて管理しなければいけない、との反対意見がありますが、超長寿命のものは、実はあまり危険ではありません。原子が壊れるときに放射線を出すのですが、半減期が非常に長いということは原子が壊れにくいことを示し、したがって、放射線があまり出ないことを意味するからです。また、日本は地震、断層が多く、地層処分場を建設できる場所はない、との批判があります。30年前には、私もそう思っていました。場所によっては地中の金属化合物が超長期間に亘って動かない例を、断層の直近にあるカミオカンデ(神岡鉱山跡地に設置)や、ウラン鉱床を断層が分断しているのにウランが移動していない東濃地科学センター等で見たこと、そして、人工バリアのための技術進歩を見たことで、日本でも地層処分が可能であると考えようになりました。成績でいえば優は無理でも良、可の場所ならある、ということです。

以上、原子力の光と影に当たる諸点を述べました。原子力は、その特性ゆえ、取り扱いを間違えば極めて危険なものですが、逆にちゃんと制御すれば、極めて有用なものです。自然エネルギーは、エネルギー密度が極めて低いことから、それほど期待はできません。現在、原子力を止めて火力で補っていますが、燃料の差額が年間三兆円を超えます。電気代は上昇し、経済は停滞し、税収は落ち込み、製造業は空洞化する悪循環に入りつつあります。日本が沈没しないために、原子力を有効に使っていただきたいと希望し、話を終わります。

1.2 大学で40年余 原子力工学の教育・研究に携わって

—特に助手時代を振り返って—

(第53号「百華」原稿2013年8月)

東京大学工学部原子力工学科の後半と大学院修士課程の2年間、合わせて3年間以上奨学金を給付していただきながら、その後、長い間ご無沙汰していて誠に申し訳ありません。思いがけず、新日本奨学会機関紙「百華」に原稿を寄稿するよう依頼を受け、題材自由ということで何を書こうかとずいぶん迷いました。というのは、1973年3月に修士課程を修了して、同年4月に名古屋大学工学部原子核工学科に助手として採用されて以来、既に40年以上経過しましたが、勤務先の変更もなく、また、外国への出張も最長3週間と日本の外にも出ず、ずっと名古屋大学で当該分野の教育と研究に従事してきたばかりで、世界が狭いからです。最近では大学の管理・運営に携わる役目になりましたが、ちょうど今年度で役員定年を迎えることもあって、この機会に大学生活40年の変遷を振り返ってみたいと考えるに至りました。赴任当時と現在とでは、大学はまったく別物と言っていいほど変わりました。今から記述することは、「昔の大学」が残っていた頃、私が助手の時代の話です。身の回りの経験、個人的なことが中心にならざるを得ず心苦しいのですが、お許しいただければ幸いです。

修士2年の時、就職希望調査で原子力関係の研究機関と会社の3つを提出したところ、指導教官の山本寛教授に呼び出され、「君は大学に残す。ただし、東大は5年年長を助手として採用したところだから無理で、他大学の原子力関係の同じ分野ならどこでも希望するところでもいい。」との宣告を受けました。続けて「名古屋大学には同位体分離分野の世界的な理論家の金川先生がいて、助手候補を探している。発言は先鋭的で権威にも平気で楯突く人物だけど、君なら一緒にやっていけるでしょう。どうですか、君も名古屋の高校の卒業だし。」とのこと。いろいろな人と相談したところ賛否が二分し、相当期間考えて、最終的には教授のおっしゃるとおりにしました。当時の小講座は、教授1、助教授1、助手2の構成で、事務官1、技官1も研究室付きでした。二人目の助手として採用されたわけです。現在では平均すれば講座あたり助手1以下で、理系分野では、修士修了で助手採用は減多にありませんし、また、一般に全国公募で選考されます。まだ研究について結果を残していない人物を採用することなどありません。

採用された4月、月初めは皆、学会へ行って不在だから、5日から来てくださいとのことで9時に研究室へ行ったところ、誰も居ない。日にちを間違ったかな?と、うろうろしていたら9時30分ごろから研究室の住人が出勤してきました。金川先生は10時ごろだったと記憶しています。現在なら、4月1日9時頃から辞令交付の式がありますし、職員は8時30分には出勤済みですから、まったく違いますね。

金川先生は京都大学原子炉実験所から赴任されて間もないころで、教授は不在の講座担当の助教授(翌年教授に昇任)として、研究室の立ち上げに邁進されていた時でした。最初に言い渡されたことは「もう一人の助手の高橋先生にはエアロゾルを担当してもらっているから、君にはウラン濃縮の仕事をしてもらう。君が今までやってきた研究は年寄りになってもできるか

ら、若いうちはもっと本質的なことをやるべき」ということです。実は、卒業論文、修士論文では、軽水炉数十基、高速増殖炉数基、新型転換炉数基が複数存在する未来の燃料サイクルにおいて、各炉の各領域から取り出したプルトニウムを、その Pu239, 240, 241, 242 の組成に応じて、再処理の後、どの炉型のどの領域に戻せば最も効率的か、すなわち、新しい濃縮ウラン燃料をどれだけ節約できるか、という研究に取り組んでいました。変数が大量にある最適化の問題です。これを当時の（今でも）コンピュータで扱うためには、各炉型の各領域の核特性を、本質を失わない範囲で、いかに近似するかが勝負です。全体をバランスよく見渡す能力が必要ですが、金川先生が指摘されるとおり、新しい物理や新しい理論を構築する仕事ではありません。それまでの仕事に未練が残ったことは確かですが、雇用されたからにはボスの命令に従いました。勉強しておけ、と渡されたのは、厚さ 3 cm 程度の青焼きコピーでした。題目は “The Theory of Isotope Separation as Applied to Large Scale Production of U-235” で、マンハッタン・プロジェクトの際にノーベル物理学賞、化学賞受賞者を大量に含む理論家、実験家が理論構築に携わって作り上げられたウラン濃縮理論を、アメリカ化学工学学会の会長をも務めた K. Cohen がまとめたものです。1952 年に出版され、現物が入手できないのでコピーしかなかったのです。

翌日から、この本との格闘が始まりました。ざっと見ても何がなんだか理解できなかったので、最初の式からすべて自分で導いて確認することにしました。遅々たる歩みですが、半年くらい続けますと、なんとなく見えてきて、身につけた理論を現実の問題に適用したくなりました。当時日本では、遠心分離法でウラン 235 を天然の 0.72 % (残りの 99.28 %はウラン 238) から 3~4 %程度にまで濃縮することを考えており、開発を進めていた遠心分離機では、U-235 の濃度を 1.2 倍 (濃縮側分離係数 $\alpha = 1.2$) 程度に濃縮した流れと 1/1.2 倍 (減損側分離係数 $\beta = 1.2$) 程度に薄くした流れに分けることを目標にしていました。したがって、1回では希望する濃縮度にできません。そこで、遠心分離機を並列に何台も、そして直列に何段も組み合わせて希望する濃度までもって行きます。また、少し薄くなったウラン 235 を捨ててはもったいないので、最終的に廃棄できる濃度、例えば 0.02 %まで薄めます。これら分離機の組み合わせをカスケードと呼び、濃くする部分を濃縮部、薄くする部分を回収部と呼びます。カスケード理論は、例えば遠心分離機を並列に何台、直列に何段並べたらいいか計算するものですが、遠心分離機で構成するカスケードに適用しようとして、はたと困りました。この理論は、ガス拡散法を念頭に構築されており、ガス拡散では1段の操作あたり最大でも 1.004 倍にしか濃縮できないことから、段ごとのウラン 235 濃度は、ほぼ連続量として近似できます。そこで、基本の式は従属変数をウラン 235 の濃度と各段の流量 (遠心分離機 1 台の処理流量で割れば必要数わかる)、独立変数を段数とする微分方程式なのです。遠心分離機カスケードでは段毎のウラン 235 濃度、ウラン流量を連続量として扱うことはできません。したがって、遠心分離機で構成されたカスケードを解析するためには、従来のカスケード基本式を使うことができず、従属変数が不連続量の差分方程式が必要になるのです。もっと困ったこともわかりました。この基本式は、形は単純なもの、ウラン流量とウラン 235 濃度の 2 変数が絡まりあった複雑な非線形連立方程式群なのです。コンピュータを用いた繰り返し収束計算で解を求めることは可能ですが、紙と鉛筆で解析的に解こうとすると手も足も出ません。結局、懸命に勉強した基本式は、そのままでは使えないことがわかりました。

カスケード基本式は、考え方としては極めて単純なものです。すなわち、ある段へ供給され

るウランの流量は、下の段からのウラン 235 濃縮流と上の段のウラン 235 減損流の合計である、そして、ある段へ供給されるウラン 235 の流量は下の段からの濃縮流に含まれるウラン 235 の流量と上の段からの減損流に含まれるウラン 235 の流量である、というバランス式にすぎません。しかし、供給流から濃縮流へ移る割合と定義されるカットも、その中でウラン 235 が移る割合も、分離係数やその段への供給流中のウラン 235 濃度の複雑な関数であり、そのために二つの変数が絡まりあった複雑な非線形連立方程式群になってしまうのです。

ウラン濃縮カスケードを系統的に解析する研究は 1973 年ごろから発表され始め、そこではカットやウラン 235 が移る割合（ウラン 235 成分に関するカット）を、ウラン 235 濃度を含まない形に近似して基本式を線形化することで、見通しを良くしていました。この近似は、ウラン 235 の濃度が 5 %以下程度の時には有効ですが、そうでないと誤差が大きい。これを何とかしようといろいろと手計算していたところ、ウラン 235 に関するカットが分離係数だけで近似なしに表現できることを見出しました。同様にウラン 238 に関するカットも分離係数だけで近似なしで表現できることがわかりました。つまり、複雑な非線形連立方程式群がウラン 235 とウラン 238 の流量バランスを表す線型方程式群に近似なしで変換されたことになります。この発見が私の研究者としての始まりです。K. Cohen の本の式をすべて追いかけたことで、各変数間の関係が反射的にわかるようになっていて、この成果が得られたものと感じています。

当時は、助手としての義務は、2 年生、3 年生の学生実験の担当と、研究室に配属されている 4 年生、大学院生との相談、研究室のセミナー出席だけで、拘束される時間は短いものでした。研究室の事務的業務は研究室付きの事務官が一手に引き受けてくれましたし、教育、研究のための実験準備も研究室付きの技官が手伝ってくれました。そこで、何の心配も雑用もなく、勉強、研究に打ち込むことができ、夕方になると、ほとんど年齢差のない学生たちと一緒にソフトボールや、ランニングに汗を流す生活でした。現在の助教（助手から名称変更）達は、まず人数が半減したこと、事務官、技官が定員削減のために研究室からいなくなったことのために、彼ら彼女らの仕事をやらねばならず、自由になる時間は極めて少なくなっています。また、大学院博士課程を無事修了しても、助教に採用されることは極めて稀で、一般的にはアカデミックなポジションは殆ど存在せず、任期の存在する身分不安定なポスドクになるしかありません。とにかく結果を出さなければ、ポジションを失うわけで、答えがある程度見える研究対象を選ぶことになって、腰を据えた本質的な研究をする余裕はありません。

金川教授の庇護の下、恵まれた環境の中で私の研究は進展しました。特に、分離パワーと価値関数に対する理解が進みました。分離パワーは、カスケードや遠心分離機の性能を表す尺度です。処理流量とウラン 235 の濃度を変数とする価値関数との積が流れの価値を表すと考え、濃縮流、減損流それぞれの価値の和が供給流の価値と比較してどれだけ増加しているか、その増加分が分離パワーです。その際、同一の分離性能であれば、どのような 235 濃度で供給しても、同一の値になることが要請されます。分離パワーは同位体分離理論の中で最も重要な概念ですが難解で、理論を作った研究者以外でこの理論を理解しているのは、世界で 10 人いないだろうと言われていました。この概念は、マンハッタン・プロジェクト初期の 1939 年に、重水素を発見してノーベル化学賞を受賞した H. C. Urey が導入し、半導体の転移で著名な R. Peierls が価値関数をはじめて導き、最終的には陽電子の発見でノーベル物理学賞を受賞した P. A. M. Dirac がエレガントに導きなおしたものです。価値関数は、分離パワーに要請される条件を満足する関数方程式（微分方程式、差分方程式、特殊関数方程式など）を解いて得られま

すが、ガス拡散法のように微小な分離しかえられない場合や濃縮側、減損側分離係数が等しい場合（対称分離と呼ぶ）には、価値関数の式中には 235 の濃度しか現れず、不都合はありません。しかし、分離係数が大きくなり、濃縮側、減損側分離係数の値が異なる場合（非対称分離と呼ぶ）には、価値関数の中に分離係数の複雑な関数が現れて、価値の増加が分離係数に依存して、分離パワーに要請される条件を満足できなくなる矛盾が生じます。この困難さは、遠心分離機など、性能が向上してくるにつれて大きくなり、1970 年代前半、ますます混迷を深めていたのです。また、1960 年に価値関数を導く過程で決定された（と信じられていた）分離パワーの分離係数による一般的な表現式に対して、疑問を掲げる指摘も出されてきました。これらの問題の解決法が見えてこなかったのは、分離パワーに要請される関係を表現する関数方程式が簡単に解けなかったからです。1960 年の当該論文でも解法は示されておらず、同僚の数学者に頼んで解いてもらったという脚注が付いていました。解法を吟味しますと、価値関数を導く過程では分離パワーの関数形を決めることは不可能であること、1960 年に導出された関数形は、ウラン混合物の中のウラン 235 の流れについての価値増加、その関数形で分離係数 α 、 β を入れ替えるとウラン 238 の流れに関する価値増加になることがわかりました。すなわち、Dirac 等 が分離パワーに対して要請した条件は、ウラン 235 と 238 の流量合計では満足されず、成分ごとに満足されることを証明できたのです。このように分離パワーの理論体系に存在した不整合さの原因を解明し、合わせて諸矛盾を解消して、一般概念への拡張に成功しました。この発見は、新しい概念を導入することで未解決問題を理論的に解決した基礎的なものであり、産業的には何の役にも立ちません。しかし、学術的には大きな前進であったと思っています。周囲からはフィールズ賞、ノーベル賞もので学会賞へ推薦という話もありましたが、金川教授は「君のような恵まれたポジションにいる者は、賞をもらってはいけない。厳しい状況の人達にチャンスを廻すべき」と仰って、この話は無くなりました。多分、修士課程終了直後に助手に採用された金川教授が若い頃、同様のことを誰かに言われたのではないかと思います。しかし、その後、賞に縁がありませんから、どこか複雑な気持ちです。

ウラン 235、238 に加えて 236 も考えなければいけないとき、これは多成分問題となって、2 成分問題と比較して、解析は遥かに複雑になります。流れのバランスを表現する基礎式は 2 成分の場合よりも複雑な非線形ですし、分離パワーに要請される関数方程式の解法はほぼ不可能です。当時は、多成分分離カスケードの計算が、ある条件ででもできれば、それだけで論文になりました。そこで、多成分系での解析を楽にしたいと考え、2 成分系での概念を多成分系へも拡張できないかと試みたところ、非線形バランス方程式群を、案外簡単に成分の数の線型方程式に分解できました。その結果を用いると、多成分系のカスケード計算に要する時間は桁違いに小さくなり、何の苦勞も無くなりました。また、多成分系での分離パワーを支配する関数方程式も、解くことなく、2 成分の場合の拡張で解を合成することができました。私のこの結果を用いて多成分分離カスケードの計算をしたペーパーがいくつか投稿されたそうですが、査読の段階でほとんどすべてが却下されたと言っています。計算があまりにも簡単になったので、論文としての成立性が無くなったのです。この手法は世界中で当たり前の道具として使われていますが、私としては、論文を引用されるチャンスを失ったわけで、現在の引用数の競争の時代になると、これもまた複雑な気持ちになります。

論文博士の出願資格、すなわち修士終了後 5 年経過を満たして、論文博士取得のための準備を始めました。今までに述べた基礎理論を応用して遠心分離機で構成されたカスケードの諸問

題を解析した部分を加えて、論文にまとめました。大部であったため、業者に依頼したタイプに半年以上を要し、1979年の8月に博士号をいただきました。分離パワーの概念が提案されて40年の節目で、それまでの理論を包含する形で論文をまとめることができ、嬉しかったことを思い出します。

これらの結果は、一般にはそれほど評判にはなりませんでしたが、分離パワーについて研究した経験のある諸先輩には価値観の変更を迫るものであり、驚きをもって迎えられました。分離パワーが各成分に対して定義でき、それぞれが、Diracが要求した性質を満足するという結果を学会で口頭発表したとき、そこにいらした高名な先生が興奮で顔を真っ赤にして「美しい、これは美しい」と叫んでくださり、びっくりしましたが、最高の褒め言葉だと感謝しています。また、1985年に東京で開催された遠心分離ウラン濃縮の国際会議に招待されたZippe博士（第二次世界大戦中ドイツで遠心機を開発、終戦後ソ連に抑留されて、そこでも遠心機開発、ヨーロッパへ戻った後もこの分野のリーダー）が、山本に会いたいと仰って、急遽、東京へ呼び出されたりもしました。さらに、後年になりますが1998年に名古屋で分離現象に関する国際会議を開催し、その組織委員長を務めました。各国の著名な研究者たちが次々と「長い間、会いたいと願っていた。君にあえてうれしい」と、強く手を握ってくれました。論文を書けば、世界中で見てくれる人がいることがよくわかって、私自身もうれしくなりました。

金川教授の博士論文は、K.Cohenの著書にまとめられた遠心分離機の理論を一般化した、半径方向を積分し高さ方向の濃度分布を求める理論（Cohen-Kanagawa理論）で、遠心分離機内部の流れなどをパラメータ化した莫大な計算の基に描かれた線図は、当時の遠心分離機開発の設計指針を与え、開発者達にとって教科書でありバイブルであるような優れたものでした。しかし、論文中には実験に関するものはなく、そのため工学博士の論文としていかがなものか、という批判があったようで、私にはその種の苦勞を与えたくはないと考えられて実験もやれ、ということになりました。（結果的には、前述したように約5年後に提出した学位論文には実験的研究は含まれてはいません。）しかし、研究室立ち上げ当時、講座あたり使用できる予算はコピー代、電話代、郵便料を含めて300万円程度しかなかった（競争的資金を確保できない場合、現在でも同じです）、金川教授が京都大学時代に使っていたガラス製のアルゴン同位体分離実験用の熱拡散塔を貰い受けることになり、助手採用2年目の5月にまだ若葉マークの付いた乗用車で頂きに行きました。熱拡散塔は中心軸に発熱線を張った同心の二重円筒で、内側円筒に混合ガスを供給し、外側円筒には冷却水を流す単純な構造です。熱線と冷却壁の間隔は、5mmとか7.5mmと狭いものですが、その間に例えば1000度の温度差をつけますと熱拡散現象、すなわち、一般には重い成分が冷たい壁側に、軽い成分が熱線側に移動する現象が生じ、中心近くで暖められて上昇流、冷壁側で冷やされて下降流となる自然対流に乗って、軽い成分が塔の上に、重い成分が塔の下に濃縮されるという単純な装置です。マンハッタン・プロジェクトでも研究され、初期にはウラン235が0.72%の天然ウランを0.9%程度まで微濃縮するのに用いられました。日本でも仁科芳雄博士が率いる理研で熱拡散法ウラン濃縮の研究が進められていました。

研究室で安定同位体の分離実験ができるの良いのですが、そのためには質量分析装置が必要です。質量分析計は安くとも数千万円しますから、同位体分離実験はあきらめ、数十万円で購入できるガスクロマトグラフを用いて、アルゴンとヘリウムの混合ガスを分離する実験で腕を磨くことにしました。鉄のアングルを切断して組んだ枠組みに熱拡散塔を設置し、原始的な石

熱膜流量計やバルブをかき集めて組み込みました。装置の製作組み立てには研究室付きの技官の角尾さんが全面的に協力してくれましたし、実験の基本は先輩助手の高橋先生に徹底的に教えていただきました。後から考えると、手作りの装置を一から作った経験は極めて重要だったことがわかります。どこの何をどのように測定し、どのように制御するか、また、測定、制御の精度はどの程度なればいけないか、どのような所を改善すると実験精度が向上するか等、目の前の装置を見ながら考えることができ、すぐさま改善できたからです。ブラックボックスの部分は存在しない、すべて目の前に展開されている、このような装置で実験することで、実験センスが身についてくるのだと思います。大学院の学生達とあーでもない、こーでもない、と言いながら実験しました。現在の一般的な研究室には、相当立派な装置が据え付けられており、中身が見えず、データもアナログメータで読むことなく、数値で表示されるパネルを見ながら実験しているところが増えてきたと思います。装置の中でどのような現象が起きているかを見ることは困難で、ブラックボックスになっている可能性もあります。このような実験では、実験そのものの精度は向上し、データの読み込みも楽になっていますが、センスを身につけることは困難で、データ収集マシンに成り下がってしまう恐れもあります。特に新しい現象に挑むときには、研究上も、教育上も、大規模ではない目に見える装置が必要だと感じます。そうでないと、人間が装置に使われてしまい、予想外の現象が生じても見過ごしてしまうでしょう。熱拡散塔の理論（Jones-Furry 理論）も遠心分離機の理論と同じ手法で、マンハッタン・プロジェクトの際に研究されています。戦後数年を経てから機密解除されたレビューを皆で勉強し、計算機のプログラムに組み上げましたが、半径方向温度分布に起因する解析的に明示不能な積分を多重に含み、数値積分の技法を駆使した複雑なものでした。その理論を精密にするだけでは進歩が望めないと考え、軸対称半径方向、軸方向2次元の流れ、温度、濃度分布を計算するプログラムを大学院生と一緒に作り始めました。後述しますが、自信を持って発表できるようになるまで、10年近くかかりました。

熱拡散の実験と並行して、核融合の燃料となる三重水素（トリチウム）を含んだ水の蒸留分離実験も始めました。トリチウムは β 線を出す放射性物質なので、質量分析をしなくても数百万円の液体シンチレーションカウンタで測定できるからです。蒸留は、蒸発と凝縮を繰り返すと気体中に蒸発しやすい成分が濃縮され、液体中に蒸発しにくい成分が濃縮される現象を利用した分離で、原油からガソリン、軽油等を分離する方法として知られています。トリチウム水の蒸留の場合、1気圧のとき、1回の蒸発、凝縮でトリチウムが液体側に1.028倍濃縮されますが、蒸留分離装置では、できるだけ多数回の蒸発、凝縮を繰り返すことができるか、すなわち、わずかの濃縮をどのように積み重ねることができるか、が勝負どころです。そのためには気体と液体の界面をできるだけ広くすることが必要で、その目的のために塔内部に種々の詰め物をします。この詰め物を充填物と呼んでいますが、これらの種類、材質、形状などで大きく分離性能が変化します。性能は、蒸留塔で何回蒸発、凝縮が起きたことに相当するか（理論段数）、1段当たり高さがどれだけ必要か（理論段相当高さ）で表現します。段数が多いほど、理論段相当高さが小さいほど高性能です。実験室の蒸留塔はガラス製で小さいので、工業的に用いられる充填物は使用できません。そこで、熱電対のセラミック製保護管を数ミリに切断して超小型ラシヒリングの代用としたり、ガーゼほどの粗さの真鍮製の金網を金切バミで6 mm x 25 mmに切断してディクソンリングの形状に作ったりしました。塔の内容積は200 ml程度ですが、その中に詰めるのに必要な量を作るのに、大学院生と二人で約3週間要しました。金網を丸め

る作業では、指先の感覚が無くなりました。実験装置も下のフラスコで炊き上げ上で冷やす単純なものしか作れなかったため、実験を続けているとフラスコ中の水が減少して、上がっていく蒸気量がそれに応じて減っていきます。このような状態に対する解析手法は見当たりませんでしたので、段数が刻々変化するモデルを作って蒸気量と理論段相当高さを求めたりしました。

ちょうどその頃、日米科学技術協力（核融合分野）の派遣研究者の公募があり、運よく核融合燃料取り扱い技術分野の第一回目の派遣研究者に選抜されましたが、希望するロスアラモス科学研究所の許可がありません。1年ないし2年滞在して、トリチウムの実験をやり、日本でトリチウム取り扱い施設を設計・建設するための情報と技術を身につけてくるのがミッションでしたが、トリチウムは水爆の原料でもあり、高度に軍事機密であるために完全に拒否されました。最終的には米国エネルギー省（DOE）と文部省、科学技術庁、外務省との交渉で、成田から成田まで3週間の条件で許され1980年2月に同研究所を訪問しました。予備実験装置は見せてもらったものの、テクニシャンが移動したとの理由で実験はできず、本体装置のトリチウム・システムズ・テスト・アセンブリ（TSTA）は、30分だけ垣間見せてもらっただけです。結局、実験装置の性能解析のコンピュータープログラムをじっくり教えてもらうことで滞在時間を過ごし、説明者が理解できなかった部分を一緒に考えて解決すること、夜のホームパーティーで研究者の娘さんとピアノの連弾などして警戒感が薄れたことなどを通して信用されていたのか、帰国直前にこっそりと30分間TSTAの建物に入れてもらいました。その数年後には、日本からの5人以上の研究グループがTSTAに常駐するようになり、国際会議で再び訪問した際にはパイオニアとして歓待を受けました。

1979年だったと記憶しますが、ある日突然、文部省の科学官を務める偉い先生が研究室を訪ねてこれ、手作りの実験装置をご覧になりました。いろいろとアドバイスをいただきましたが、手作りの真鍮網を切って作ったディクソンリング充填物には「こんなものよく作ったねえ」とあきれていらっしやいました。後から考えると、おそらく実験遂行能力を確認にいらしたものだと思います。昭和55（1980）年度に、文部省から特別設備「同位体分離実験装置」が措置されました。同時に実験室も増築してもらえることになり、それら装置の仕様策定、RI使用施設としての建物設計、部屋割りなどを、大学本部と工学部の事務方と一緒に作りました。実験装置は熱拡散と蒸留の分離装置本体、質量分析計、それに金川教授の強い希望でスーパーミニコンピュータの三つの部分に分かれていましたが、要求金額の50%増しで査定されて、質量分析計とコンピュータはそれぞれワンランクアップしたものを導入できました。分離装置本体については、それまでの経験を活かし、本体そのものよりも計測・制御系に重点を置きました。本体そのものに仕様が付されていない要求は珍しく、事務方の納得を得るのに苦労しました。

1981年3月末、実験装置の引渡しを受けてから、それらを順調に動くよう調整するためにかなりの時間を要しました。高価な計測器は、飼いならすのに大体1年は必要です。特に質量分析計の再現性を確保することに苦労しました。大学院生と一緒に、一つ一つの計器を確認して、順調に動くようにしましたが、装置は作る時が最も面白く、中身も理解できるので、院生も大変でしたが、幸運であったとも思います。その後、熱拡散塔を用いてアルゴンの同位体分離実験を開始し、1984年にかけて種々のデータを取得しました。1981年夏には、歴代院生の多大な努力が実り7年を要して塔内2次元流れが全還流運転の場合について初めて得られ、その後、連続供給・抜き出しのある場合にも拡張できました。計算は、ひとつの条件に対して丸1日（約20時間）かかりました。ところが、この分野の先人達は、この自然対流が解けるはず

がない、と信じてくれません。流れの解が正しいことをどう証明しますか？と尋ねてきます。間隔 5 mm に数百度の温度差がある円筒状の狭い空間の流れを可視化することは困難なので、流れの解を 2 次元の移流・拡散方程式に代入して塔の上下抜き出しのアルゴン 36 と 40 の同位体比を計算し、種々の運転条件下の実験結果と比較しました。1984 年には「解析は実験結果をよく再現できる」ことを確認し、間接的に流れの解が正しいことを証明して論文にすることにしました。論文掲載には当時投稿後約 1 年を要しましたから、熱拡散塔の 2 次元流れの最初の論文は 1985 年に出版されました。順調に発表され続けてきたカスケードや分離パワーの論文が 1980 年に一段落してから、先に述べた理由で、結果的には 1981 年～1984 年、学会誌には依頼論文以外には、一報も論文が掲載されていません。現在、4 年も論文が掲載できないようでは、ポジションを追われかねません。じっくり確認してから論文を書く、という立場をとることは古きよき時代だったからこそ可能で、現在では困難かもしれません。

1984 年夏には当初の目的どおり、熱拡散装置をトリチウム分離用に改造し、実験と合わせて 2 次元分離性能解析も実施しました。アルゴンでは実験と解析の値が良く一致していたのに対し、水素では解析のほうが大きな分離係数を与えるので調べたところ、用いた熱拡散の程度を示す熱拡散ファクタの式が単原子の気体には適切であるものの、水素のような 2 原子分子には適切でないことがわかり、新しい理論を勉強して、それを近似した式をプログラムに導入することで、解析が実験結果を説明できるようになりました。この結果をトロントで開催されたトリチウム国際会議でポスター発表したところ、ポスターの所へニコニコした初老の紳士が訪ねてきて「私はラザフォードだ」と仰いました。熱拡散分野では Rutherford 博士は著名で「あの有名なラザフォード先生ですか」と聞いたら「その通り」というやり取りの後、軸方向 1 次元解析でも面倒くさくて大変なのに、なぜ 2 次元で計算しなければいけないか、1 次元でも十分解析できるのではないかと始まって、30 分以上も教えていただきました。あまり感激して討論に熱中していたので、写真を撮ることを忘れしました。残念です。

確かに Rutherford 博士のご指摘どおり、2 次元解析はより正確な情報を得ることができ、分離塔の詳細設計には適しているけれども、ひとつのケースの計算に丸 1 日を要するようでは幅広い範囲の分離対象、塔の形状、運転条件等を検討する概念設計には使えません。円筒形状の半径方向を積分した軸方向 1 次元解析 (Jones-Furry 理論) も相当難解、複雑で、この手法を駆使できる研究機関は国内でも数箇所のみでした。そこで、2 次元流れ解析の解が得られた直後から、1 次元軸方向濃度分布を (数値計算ではなく) 解析的に扱う、すなわち、紙と鉛筆で計算できるようにすることを目標にして、単純化モデルの開発に着手しました。半径方向温度分布に起因する解析的に明示不能な積分が困難の元凶ですから、これを回避しなければいけません。半径方向に数百度の温度差がある場所で分離対象気体の物性値を計算する場合、温度をひとつしか選択できないとすると、それはどんな温度か？を考え、自然対流に対する運動方程式の近似式に現れる、ある種の平均温度をそれに当ててべき、という考え方で「代表平均温度」の概念を導入しました。この概念を用いることで、半径方向の自然対流速度分布も明示的に求められ、莫大な量の手計算の末 (結果は大学院生に数式処理のプログラムで確認してもらいました) に、設計変数を明示的に含む熱拡散塔の最適運転圧力、その際に得られる最大分離係数などの式が導出でき、この式から求めた圧力は、Rutherford 等の実験データをうまく説明できました。

さらに 1988 年 11 月には最大分離係数の式から「深冷壁」熱拡散塔の概念も着想できました。

これは、熱拡散分離の駆動力である熱線、冷壁間の温度差が、最大分離係数の式の中では常に冷壁温度との比の形で現れることを根拠にしています。通常は室温程度（約 300 K）の冷却水を流すところを、液体窒素（約 80 K）で冷却すれば、温度差を 3 倍以上にすることと同等である、という予想です。実験室のスーパーミニコンピュータを 24 時間フル稼働させて 2 次元の分離性能解析を進めましたが、1 ケースに約 1 日かかりますから広範囲の温度差、運転圧力にわたって計算することはできません。予算オーバーを承知の上で大学の大型計算機センターに移植し、夏休みには毎日、1 日最大受付数 35 件の計算を行いました（その月の計算機使用料金は 100 万円を突破しました。その請求書を見て、何か桁の間違いではないかと金川教授が私の部屋に飛び込んでいらっしゃいましたが、これこれの目的で使いましたと申し上げたところ、「わかった」の一言で許してくださいました）。その結果から「深冷壁」熱拡散塔の有効性に確信を持ち、内々で関係者に話したところ、住友重機械工業の平塚研究所が予備実験をしてくれました。高さ 90 cm ほどの小さい塔を、大きな魔法瓶にいれた液体窒素の中にジャボ漬けた分離実験をして、室温の水の場合と比較してくれました。その差は対数グラフが必要なほど大きく、研究所の関係者は、「外国の後追いではなく日本で予言された大幅な性能向上を、自分たちの手で証明できた」と、本当に喜んでくれました。軸方向 1 次元単純化モデルを提案した論文は、査読者が論文の価値を認めてくれず、長い間たなぎらしになっていました。しかし、最適運転圧力や、深冷壁熱拡散塔の概念など、モデルから予言された結果が示されるにつれて、学会事務局が査読者を変更する処置をとり、1990 年に一挙に一連の論文として公開されました。これらの結果は、分離パワーの話と違って、関係者が「今度の論文は良くわかった」と言ってくれました。工学は、やはり理論だけではだめで、目の前の装置で結果を見せなければいけない、と感じた次第です。昔、金川教授が言われた意味が良く理解できました。

1988 年 5 月に高橋助教授の転出のため後任の助教授に昇任、1995 年 4 月に金川教授定年で教授に昇任しました。教授昇任と同時に主任を任され、その後は工学部、大学全体の仕事、加えて国、地方自治体、学会関係の仕事が増えました。この原稿書き出しの際の予定では、教授昇任頃から始まった大きな改革のうねりの中での大学の状況変化、改革の内容についても書きたいと思っていました。本稿で述べた事とはまったく異なる話ばかりで、昔と対照比較することで大学の変化の状況が良くわかると考えたのですが、既に予定枚数を大幅に超えていますので、またの機会にしたいと思います。ありがとうございました。

1.3 原子力工学の教育・研究

—福島第一原子力発電所事故の反省—

(学術の動向 2015 年 2 月号 特集 福島原子力事故 PART2)

原子力（ここでは核分裂に限って論じる）は、もともと危険なものである。核分裂に際し単位質量当たり発生するエネルギーが、化石燃料のそれよりも約6桁大きいし、エネルギー発生に付随して燃料物質とほぼ同量の放射性物質が生成されるからである。その原子力エネルギーを安全に取り出し、人類社会に役立てるために原子力工学は存在する。巨大なエネルギーを安全に扱うことができるように、原子力工学はほぼ全ての工学分野の知識・技術のみならず、気象学、水理学等の環境関係の分野、放射線健康被害に関わる医学等分野にも関係する。我々は原子力工学の中の各々の専門分野で、より安全な原子力を実現するためにがんばってきたし、原子力機器、プラント設計や土木関係等の建設関係、プラントの維持・管理に面での電気事業者等、それぞれの分野で精一杯の力を発揮して安全を追及してきた。加えて、安全審査・規制等の行政の力で安全を担保してきたはずである。ところが我々は東京電力福島第一発電所の事故を防ぐことができなかった。我々はどこで、何を間違えたのだろうか。直接的には福島第一発電所の安全対策に関する東京電力経営陣の判断の誤り、怠慢に起因すると考えるが、それを許した原子力界全体の責任は大きい。この危機感の希薄化は、特定の時点、特定の事項に因るものではなく、長期に亘って広い範囲で徐々に進行してきた種々の緩みに起因するものであると考える。

原子力工学教育の目的は、上述の種々の分野で活躍できる人材を輩出することである。その教育は、大学のみならず、研究開発、設計・製造、プラント建設、維持管理、健康管理、原子力安全行政等の種々の現場でも不断に続けられるものである。そして、各個人は、それぞれの持ち場で責任を持って働く人材に育つ。原子力工学が他の分野と比較して異なる特徴は、核燃料や放射性同位体元素の取り扱いに伴う臨界安全性の担保、放射線防護が必須であることである。そのため、実験棟、実験室、実験装置の安全管理のための設備や維持要員の充実が不可欠であり、加えて、耐用期限を迎えた実験棟、実験室、実験装置等の廃止措置の困難さもある。したがって、原子力の教育、研究には必然的に大量の人的資源、財政的資源が必要であり、まさに国を挙げて遂行する事業となる。そこで、純粋な科学技術の観点から論じることは不可能であり、国家エネルギー政策、セキュリティ政策に関わる論点の対象にもなる。

原子力は、不幸にも当初は軍事目的であったが、平和利用のための研究開発は、アイゼンハワー大統領が1953年12月の国連総会で提唱した”Atoms for Peace”を契機として始められた。世界で初めての原子炉シカゴ・パイル1 (CP1) が臨界に達したのは1942年12月であるから、それから11年しか経過していない時である。日本でも1955年12月に原子力基本法が成立し、1956年6月に日本原子力研究所が、1957年11月に日本原子力発電(株)が設立されて、本格的な研究開発が開始された。原子力委員会のもとで、日本原子力研究所、原子燃料公社、国家公務員、電力、重電等の民間企業から、これからの日本の原子力を担うと期待された人々が選抜されて、原子力留学生として米国、英国を中心とした研究所、大学等に派遣され、一気

に技術の導入が図られた。1963年10月には米国から導入した動力試験炉 JPDR の運転が開始された。さらに京都大学を嚆矢として旧帝大すべてと東工大、いくつかの私立大学に原子力関連学科が設立されて原子力工学の教育・研究も開始され、それらの大学には別枠で原子力関係設備が措置された。このおかげで大学における原子力工学の教育・研究は大きく推進されたが、この措置はチェルノブイリ事故が起きた1980年代中頃までで終わり、その後は原子力関係の大きな予算は大学に来なくなった。それ以降の原子力工学の教育・研究は、この頃までの研究インフラの遺産の上に成り立っていた。しかし、研究のインフラに加えて、これらを維持・発展させていく研究費の両方が手当てされないと、言い換えれば、どちらかが足りないと研究の魅力が失われ、意欲ある人材の確保が困難になる。この点は総ての科学技術の研究に一般的ではあるが、核燃料や放射性物質を扱う原子力の教育・研究に顕著に現れている。原子力研究開発が開始されて半世紀を経過した現在、日本の原子力関係の教育機関、研究機関の設備は、一部を除いて全般的に老朽化しており、研究の推進どころか設備の安全な維持・管理さえも十分にはなせない状況にある。

原子力は危ないものであり、これを制御して安全にすることが原子力の基本だったのに、原子力発電が全電力量の3分の1を占めるようになって成熟技術という錯覚を生み、2011年3月11日まで、曲がりなりにも安全が保たれた故か「危ないものを危ないものとして扱う」初心を忘れていたのではないか。これが第一の反省点である。特に原子力に関する「現場感覚」「身体感覚」の衰退が、その大きな原因になっている。この傾向は、原子力に関わる広い分野で生じている。まず、大学では、上述のように原子力関連実験室、実験設備が老朽化し閉鎖されて、核燃料、放射性物質を取り扱う実験が困難になってきている。研究機関についても日本原子力研究所、動力炉・核燃料開発事業団が原子力研究開発機構に統合されて規模が縮小し、さらに、予算も設備の維持・管理にかなりの部分が費やされ、純粋に研究開発へ廻す部分が縮小した。また、原子力プラントの新規立地の減少に伴い、メーカーにおける設計・製造等の技術伝承機能が衰退した。メーカーには電力自由化の及ぼす悪い影響が追い討ちをかけた。発電事業者からはプラント原価の3~4割カットの要請がなされ、無駄をそぎ落とすことを名目に、冗長度が少ない、すなわち、安全余裕が小さいプラント設計になり、さらに開発費が削減されて、原子力関連部門に人員を配置しづらくなった。原子力関係の仕事がないことを理由に技術者のうちいくらかの割合は配置転換を余儀なくされ、更に原子力関係の大学、大学院の卒業・修了者の就職の門が狭くなった。実際に取り扱い、実際に造り、実際に運転して初めて技術は伝承されるし、安全に対する実感・身体感覚が身につく。福島事故の対応に、昔、これらの炉を設計、製造、運転した技術者たちの力が不可欠であったことが、このことを証明している。引退していても、現場感覚・身体感覚は衰えていなかったのである。この自由化で日本のエネルギー関連「ものづくり」の体力が大きく損なわれたことを忘れてはならない。発電事業者においても、原子力安全に関する僅かな投資をケチることにつながったのではないか。福島事故の遠因の一つであると考え。話が少しそれるが、現在、日本の原子力発電所の運転が止まっていることで、発電所の運転員は、この4年弱、原子炉を運転できないでいる。プラントの維持に従事していても運転できないと、莫大なエネルギーを生み出す原子力プラントに対する畏怖の気持ち、いい意味での恐怖感、責任感からなる現場感覚が身につかないと聞く。これも原子力の安全に関わる新たな問題である。

原子力の安全は、設計、製造・建設、運転・管理全てが機能して初めて担保される。これら

のために、法律、指針、マニュアル等が存在するが、これらの内容の根拠理解が不十分になってきたのではないか。どうして、そのように設計し、製造し、運転しなければいけないかを、頭だけではなく身体的に理解しているか。少量でも核燃料、放射性物質を身近で扱うことが減ってきて、理解が表面的になってきたのではないか、が次の反省点である。特に、放射能、放射線、被曝に関する規制基準の数値の理解が不足している。放射能については、SI単位系採用による、10の23乗個の世界でカウントする身体感覚からの乖離が問題である。被曝に関する規制基準値は、障害を生じさせないために既に桁違いの安全側の数字になっているにも関わらず、さらに安全側（桁違い）の数値でなければ安全でないような錯覚に囚われた過剰な要求が日常的に起こっている。数字の意味が忘れられ、独り歩きしていると言わざるを得ない。数字の意味を理解しないと、規制が形式的になり、十分な効果を発揮できなくなる。原子力安全のためには、設計や運転において、「原理的、工学的に譲れない部分」、言い換えれば「必ず確保すべき部分」がある。これを理解し、実感していないと、科学的合理性、工学的合理性のない過剰な規制に陥る危険性がある。過剰な規制は、「原理的、工学的に譲れない部分」がどこかを忘れさせることに繋がり、原子力の安全性に悪影響を及ぼす。原子力工学の教育では、規制基準値の考え方、数値の意味をひとつずつ原理的に再確認することを通して教える必要がある。こうすれば、社会への説明もより確信を持って行うことができ、規制基準値の本来の意義が理解され、ひいては基準値の価値もさらに上がるであろう。

工学教育全体の問題点もある。それは、大学や研究機関において、論文至上主義の傾向が大きくなってきたことに因る。大学は教育機関ではあるが研究機関でもあり、特に大学院では研究を通して学生を育ててきた。ランキングが大手を振ってまかり通るようになってくると、論文の出にくい分野の肩身はだんだん狭くなる。学部、大学院の学科、専攻の活動が、論文数、引用数などのランキングで評価されるようになると、論文の出にくい分野は、教員の代替わりの際に淘汰されていく。工学全体で見れば、50年前にはきわめて重要であった国のインフラ構築に不可欠な分野、例えば、電力などの強電、機械、プラント、金属・鉄鋼、造船、土木など、言うなれば「重厚長大」の国造り基盤工学が成熟期を迎え、学問的にはそれほどの伸び代が見込めなくなった分野がこれにあたる。原子力工学もこの流れの中にあり、原子力の根幹を成す炉物理・炉工学、原子燃料サイクル、核燃料・炉材料、保健物理の分野で画期的な論文が大量に発表されることを予想することは困難である。したがって、成熟分野の研究者は、その分野の専門性を保持しつつ論文を量産できると思われる先端的分野に進出していかざるを得ないし、そうしなければ生き残ることはできない。また、教育カリキュラムにおいても、論文作成に重要な先端的分野が集中的に教えられ、視野が狭くなる傾向にある。更に言えば、研究者にとって長期間を要する研究分野でがんばることは、ますます困難になり、研究者個々の力で当該分野を支えることは、ほぼ不可能になってきた。原子力の根幹をなす分野は、まさにこれに相当し、何らかの対策を施さないと廃れる運命にある。しかし、社会を支えるためには、国造り基盤工学が不可欠であり、先端工学分野も基盤工学の上にあることを忘れてはいけない。言い換えれば、基盤工学を理解、習得しないで先端工学を学んでも、工学分野の技術者、研究者としては十分ではなく、真の工学人材とはなり得ない。その意味で、工学全体の教育カリキュラムは、初心に戻って再点検する必要がある。これが、工学の教育・研究に従事してきた筆者の切実な反省点である。

2. Web より

2.1 原発・エネルギーの今後

危ないものを危ないものとして扱う

(日本科学未来館HP アーカイブCase 3.11 原発・エネルギー)
<http://www.miraikan.jst.go.jp/sp/case311/home/docs/energy/1106222240/index.html>

緊急課題

「今回の原発事故に関しては、当事者の認識が甘かったのではないかと思います。原子力は危ないものだという認識が。原発は、技術としては制御できると私は思っています。ただし、危険性の認識が甘くなってしまったという点に関しては、もっと考えるべきだと思います。」

福島第一原子力発電所の事故により、放射能汚染、電力供給量の低下など私たちの身近なところに影響が現われています。これからの原子力発電をどう考えていけば良いのか、名古屋大学教授山本一良先生にお話をうかがいました。先生は原子力工学を専門とし、特に核反応に用いる希少な元素を最大限の効率で活用するための「同位体分離」について研究しています。

原子力事故の根本的原因とは？

科学コミュニケーター 天野（以下、SC 天野） 今回の原発事故は安全神話の崩壊を意味すると思いますが、事故の根本的な原因は一体どこにあったのでしょうか？ 科学技術として原発は未熟なのでしょうか？

山本一良（以下、山本） 原子力技術は、危ないものをコントロールし、いかに安全に使うかで成り立っています。そして、そのコントロールの仕方を研究するのが原子力工学です。私は原子力工学科の出身ですが、一番初めの授業は原子力の怖さを知ることでした。広島、長崎の被爆直後の黒こげ死体の写真をみるのです。「飯が食えない」くらいの写真をみて、原子力という技術を知るのです。

今回の原発事故に関しては、当事者の認識が甘かったのではないかと思います。原子力は危ないものだという認識が。

この事故はそもそも津波により、原子炉冷却用電源が失われることから全てが始まりました。炉心冷却ができなくなり、水素爆発へと発展したのです。逆に言うと、原子炉冷却用電源が失われなければ、ここまでの事故にならなかったわけです。想定外の津波でしたが、やれることがなかったか？という点必ずしもそうではないと思います。

今回の震災で、被災したすべての原発で問題が生じたかということ、そうではありません。女川原発にも津波は来ましたが、電源を高いところに設置していたから無事でした。想定外は想定外。だが、やれることはあったのは確かです。女川はできたのだから、打つ手はあったのです。それをやっていたらこれほど悲惨なことにはならなかったはずです。

問題点が分かっているにもかかわらず、対処してこなかったというのは、やはり、認識の甘

さだだと思います。これまで福島第一原発は、長い間、安全上特に問題もなく運転されてきました。これは努力の賜物ですが、それによって本当の怖さに対する認識が多少薄くなっていたのだと思います。

原子力は必要～ベストミックス

SC 天野 原子力を私たち人間が安全に制御して、社会の中で有用に活用することは、そもそも可能なのでしょうか？

山本 できると思います。今回の事故では、原子力関係者が一番気にしていた核反応については止めることができました。技術としては制御できると思っています。

社会的には原子力技術に対するさまざまな見方があります。私は、原発という技術を社会の中で活かしていくべきだと思います。使わなければ、おそらく日本のエネルギーセキュリティは守れない、安定した社会はないと思います。原子力を止めた途端に、石油価格が上がるという事態が、間違いなく起きると思います。

SC 天野 原発事故以来、自然エネルギーへの注目も高まってきていると思います。今後の日本のエネルギー戦略をどのようにお考えですか？

山本 原子力、火力、そして自然エネルギーも含め、色んなものを混ぜて使うのが良いと思います。いわゆる「ベストミックス」です。今回、原子力以外の発電設備が高い割合で存在していたから、現在、なんともかっているのです。例えば、原子力によるエネルギー供給が全体の50%を超えていたら、現状はもっと困難になっていたでしょう。

原子力の安全性を高めるために

SC 天野 今後も原発を活用していくとするなら、何か見直すべきことはないのでしょうか？

山本 原子力の危険性への認識が甘くなってしまった背景には、原発に対する過剰な規制や、電力の自由化という2つの要因があったのではないかと思います。

もともと危ないものをどう安全に使うかという技術ですから、当然、規制は必要です。ただし、その規制が工学的な合理性にもとづかない、過度なものとなっていた部分はあると思います。例えば、安全に関する改造に対して、プラントの稼働時間などに大きく影響が出るような過度な審査が待っているとすると、二の足を踏んでしまいます。逆に改良に対する何らかのインセンティブが働くようなしくみを設けることが必要なのではないかと思います。規制は安全を担保するために必要です。しかし、本質的に意味のある規制かどうかは検討すべきだと思います。

他方、電力の自由化は、原子炉の設計コスト削減につながりました。発電事業者がメーカーにコストカットを要求するようになったのです。例えば、2割、3割カットする。コストを省けるところは省くという発想です。そうなるが一番重要なところ以外で抜けが出てきます。電力事業の経済合理性の追究に関しては見直す部分があると思います。

さらに、今回の事故では、かつて原発をつくっていた技術者がすでに退職していたことが、震災後の対応に影響しました。そもそも原発は建設数が限られているから技術が継承されにくい。私の研究室の卒業生には、原子力工学の専門として会社に入っても、注文がないため他部

署に異動させられたりしている者もいる。海外で受注が取れるようになり、やっと技術が継承できる条件が揃ってきたというときに、今回の事故が起こってしまった。次世代を担う技術者の養成も大きな課題です。

SC 天野 今回の原発事故を受けて、私たちが考え方を改めなければならない、最も重要なことは何でしょうか？

山本 初心に戻れということです。原発という、もともと危ないものを、社会の中で、危ないものだと認識して適切に取り扱う。その部分で手を抜いてしまったことが、福島第一原発での冷却系の喪失という事態をもたらしたのではないのでしょうか。

2.2 「実世界データ循環学リーダー人材養成プログラム」

履修生に向けて

(名古屋大学HP 博士課程教育リーディングプログラム スタッフ紹介インタビュー)
<http://www.rwdc.is.nagoya-u.ac.jp/jpn/staff/interview/yamamoto.php>

今、このプログラムに興味をもった皆さんには、どのような志があるでしょうか。自分の志をもって、自分で様々な困難を乗り越えて、自分の力でトップになりたい、そんなバイタリティあふれる皆さんをこのプログラムは歓迎します。

このプログラムが提供する学修機会や環境は、大学院教育としては非常に恵まれたものだと思います。これだけの環境を活かせるかどうかは、履修生の皆さん次第。与えられたことに満足するのではなく、皆さん自身で活躍の場を見出して成長して行ってください。

私たちは、このプログラムを、学生個人のためというより、人類社会のために行っていると考えています。高い志をもった学生が、最高の機会を得てどんどん成長し、社会を変えていく、そのためのプログラムです。履修生としての責任を自覚して、たくましく取り組んでください。

自分の「志」をもって、自分の力でトップになる

このプログラムでは、選ばれた履修生の皆さんに、最高の学修機会や環境を提供しています。他では学べないユニークなトピックの講義、国内外でのさまざまな実践プログラムといったカリキュラムに、進んだ最先端の機器が供えられた履修生専用の共同スペース。学生の皆さんが勉学に専念できるよう奨励金も支給しています。さらに、各界の著名人と近い雰囲気の中で談話できる機会もあるでしょう。

これだけの環境を活かせるかどうか、あとは履修生の皆さん次第です。

プログラムが皆さんに与える機会や環境は、ほんのきっかけです。きっかけから何をどう吸収して、さらにどう社会に還元していくか、そこまで自覚して、「やれるところまでやる」、それは皆さん自身で成し遂げていくことです。このプログラムで提供されるいろいろな機会は、いってみれば「あそこに何か面白そうなものがあるから行って見たらどうだ？」というガイドラインみたいなもの。どのようにして行ったらいいのか、行った先で何をしたらいいのか、ましてどのルートを取ったら楽に行けるか、などをこのプログラムで「教える」ことはしません。時には、「道から落ちた? まだまだだね」なんて言われるかもしれない。でも、やる気のある子はそういう環境で必死になります。職人の世界では、「師匠の背中を見て育つ」とか「技は盗んで覚える」とか言いますが、やっぱりトップに立つ人間というのは、自分でなるものなのです。もちろん優れた導きは必要ですが、教え過ぎたりしてはいけません。

そもそも大学院は「教えてもらう」ではなく、教官や仲間と「一緒に仕事をする」という性

格のものです。このプログラムが育成しようとしているのは、博士号取得者としての知識と、産業界のリーダーたる資質を兼ね備えた人材ですが、こういう人材は教わってなれるものではありませんからね。いろいろな現場でいろいろな経験を積み、困難を重ねながら、先人たちを乗り越え進歩していく、そういう経験のある人がなれるものです。

最近、社会格差が頻繁にニュースに取り上げられるようになってきた日本ですが、まだまだ大多数の若い人は、最低限の衣食住に困ったことがないし困ることもない、と思っているのではないのでしょうか。病気やテロの脅威もあまり感じていない。でも、50年前までの日本は、明日はどうなるか分からないという生活を大多数の人が送っていました。そして、50年前までの日本と同じような状況のところは、現代でも世界のいたるところにあります。もっとひどいところもあります。それに、国際関係が目まぐるしく変わる世の中、50年後の日本が今と同じあるいは今より良くなっているという保証はどこにもありません。

世界には、日本からは想像もできないくらい貧富の差が激しいところなど、人間個人の努力ではどうにもならない不条理な社会がいくつもあります。そのような中でも、新しい社会を築き上げていこうと必死に生きる人々があります。彼らの活力には目を見張るものがあって、今の日本の若い人たちに欠けてしまった生命力のようなものを感じますね。でも、そういう力が最後は人間を高めへと押し上げるのです。

私たちは、このプログラムを、学生個人のためというより、人類社会のために行っていると考えています。高い志をもった学生が、最高の機会を得てどんどん成長し、社会を変えていく、そのためのプログラムです。

大学進学率が半分を超えている現在の日本ではなかなか実感できないと思いますが、そもそも高等教育というのは、ほんの一部の人間しか享受できないものでした。その代わり、その機会を得たいと願う学生たちは、高い能力をさらに伸ばして社会に本当に貢献したいと思っていたし、その責任を自覚していたのです。

今、このプログラムに興味をもった皆さんには、どのような志があるでしょうか。自分の志をもって、自分で様々な困難を乗り越えて、自分の力でトップになりたい、そんなバイタリティーあふれる皆さん、このプログラムで自身の経験をどんどん積み重ねていってください。その成果が出たとき、皆さんは社会で大きな役割を果たしているはずで、そして、「あなたがいたからこのプロジェクトが完遂出来た」「あなたのおかげで成功した」、そのように言われる人間として成長しているでしょう。

2.3 新英語教育とその成果について

(国際教育交換協議会(CIEE)日本代表部HP TOEFL テスト日本事務局 TOEFL メールマガジン VOL. 89)

<http://www.cieej.or.jp/toefl/mailmagazine/mm89/educators-01.html>

名古屋大学における英語力の現状

名古屋大学では、英語教育の改革にともなって、去年から TOEFL テスト ITP と Criterion 両方を、英語能力測定の手段として使い始めていただいています。まずは名古屋大学の現状について、お話を伺えますでしょうか。

名古屋大学の学生は、もともとこの中部地区、東海地区出身者が多く、地区内で就職もできてしまうため、あまり外に出て行こうとせず、国際的にも活躍しようという気持ちがわりと少ない、ちょっと内向きな学生が多いようです。最近ますますそんな傾向を感じ、危機感を持っています。また、理系の学生の場合、数学、物理、化学は良くできるけれど英語が弱いという傾向を、卒論や修論、その他ドクター論文を書いたり、国際会議に発表したりするときに感じていました。たとえば象徴的な例が、2008年にノーベル賞を受賞した益川敏英教授。益川先生が英語嫌いだということは世界的にも有名な話で、受賞の連絡も英語ではなく日本語でできましたし、受賞講演も日本語でお話になったというくらい。益川先生はともかくとしても、名古屋大学に入ってくる学生はどちらかというと、語学が好きでないという傾向がもともとあります。だけど、これからはそれを改善しなければいけない、と皆感じていました。5、6年前にも、語学に関して改革をし、総単位数は変えずに単位の出し方を変えました。英語のコミュニケーションの授業でそれまでの1クラス40名から20名にして少人数化を図り、コミュニケーション能力をあげる工夫をしました。しかし、その方法では英語や語学を勉強する時間そのものが減ってしまい、英語力がつかない。ひょっとしたら入学当初が一番できるのではないか、それはまずいということで、また数年かけて、アカデミック・イングリッシュという対面授業とe-learningを組み合わせたやり方を作り、昨年からはじめました。また、議論のなかで、英語が出来る学生と、まったく出来ない学生を一緒に教えるのは無理だという話があり、教える側と教えられる側の教育と学習の効果のために、TOEFL テスト ITP を使って習熟度別クラス編成をすることになったのです。また、一定より下のレベルの学生は、ひとコマ余分に授業を受けるという制度にしました。卒業単位には数えないけれども、合格しないと次のステップに進めないという仕組み。これは、大学から学生に対するとても強いメッセージで画期的だと思います。また、プロパーの先生方には全員、いわゆる下レベルの学生の教育に集中していただくようにしました。

新英語教育の結果と効果

導入後1年ですが、これまでと違った傾向や効果は現れていますでしょうか。

昨年分で見ると、サバイバルと呼んでいる一定レベル以下の学生が、予想より少なかったという結果が出ています。私が実際に学部で顔を合わせるようになる3,4年生の実力から見ると、サバイバルはもっと多いと予想していたのです。反対にショックを受けたのは、上位レベルの学生が少なかったこと。はっきりと点数でその結果が出てしまいました。その後、前期が終わったところで再度試験をすると、TOEFL テスト ITP で100点以上上がった学生もいました。スコアは、下のレベルの学生ほど上がり、上のほうも上がっています。真ん中の学生が安心してしまったのか思ったほど上がっていません。

ITP と合わせて導入いただいた Criterion の効果はいかがでしょうか。

面白いことに、Criterion の点数は、真ん中のレベルの学生が上がっています。英作文は e-learning に入っていないので、完全にアカデミック・イングリッシュの、パラグラフリーディング、ライティングの授業によって文章が論理的に構成できるようになったことの表れだと理解しています。これはとても嬉しかったですね。

単に TOEFL テスト ITP のスコアだけでなく、Criterion も組み合わせることで、同時に英作文力のカも測定していただくことができます。複合的に見ることで、従来のテスト一本だけの時よりも、総合的に英語力が上がっているのかどうか、明確になったのではないのでしょうか。

そうですね。ひとつのテストで判断するよりずっと良かったし、対面授業の効果がはっきりと出たと思っています。もちろん、この英語のカリキュラムはまだ1年ちょっとしか経っておらず、2年生までやらないとトータルの効果は分かりませんが、少なくとも1年目の部分は良かったと思っています。それから、各学部別で見ますと、コンスタントに勉強している学生が多い学部はクリアに上がり、そうでない学部は下がっています。それがはっきり出ました。今まで当たり前だと直感的に感じていたことが、数字的に裏づけられました。ですから出てきた結果は何も目新しいことではなく、当たり前ですけれど、コンスタントに勉強した学生の実力が上がっている、もしくは少なくとも落ちずに済んでおり、英作文力については上がっているということです。今まで基礎的な学力の中で、英語だけを取り出して強化するということは、正直に言ってあまり力を入れていませんでしたが、今回は、英語は絶対に必要だという大学の姿勢を明確に示したことに意味があったと思っています。

今年はこの改革が2年目に入り、1年生が2年生になって、更にどう伸ばしていくかという節目になるわけですね。

そうですね、1年目は初めてでもあるし、今まで勉強していないことを勉強するようになったため、上がり幅も大きく見えたわけですが、2年目以降はそれほどクリアに見えないのではないかと考えています。まだ途中ですし、上がる、ということのを定着させることが目標です。その上で、上のレベルをどう伸ばしていくかを今考えています。具体的にはライティングについての新部門を教養教育院に作り、特に大学院生に重点をおいて作文力をつけさせる。そして

学会、国際会議などのプレゼンテーション能力を高めるようにしていきます。それは理系も文系もです。

もともと私は 21 世紀 COE プログラムのリーダーをしていたのですが、その時にやはり学生の英語力が足りないということで、とある外部企業にお願いして、大学院生の英語教育をしてもらったことがあります。しかし結局は半年やっても客観的に評価できる成果は上がらなかったんです。TOEFL テスト ITP ではない他のテストでしたが結果は誤差の範囲内でした。かなりガックリしていたのですよ。度胸だけはつきましたけどね。しかし今回は、学部生で、半年でサバイバル・レベルが TOEFL テスト ITP で平均 30 数点上がりました。ですから、やれば出来るとわかり、以前の印象とは全く変わって嬉しかったですよ。大学院生は国際会議でしゃべれなくてはいけないし、ペーパーも英語で書かなければいけないし、現実度が相当高いはずなのに、そんな結果でしたから。つまり、自分でお金も出さずに、上から降ってくるおいしい話を受けようというのは駄目なのですね。自分で必要だと感じてお金を払って覚悟してやるのとは違いますね。以前はそういう現実度が少なかったかなと反省して、今回は次の段階に進むための条件になるようにしました。

そうですね。今回は単位をきちんと取らなければ次の段階にいけないのだとはっきりおっしゃっていますね。しかし TOEFL テスト ITP で何点を取る、というような設定はしていませんね。もちろん、TOEFL テストはアカデミックなテストで、スコアを取るということだけが目的のものではないですし、学校ごとに色々な使い方ができるテストですが。

TOEFL テスト ITP は自分の実力がどの辺りにあるかということを知るプレースメントです。これが例えば、何点取れば合格ということになると、対症療法のような勉強の仕方になってしまう気がします。また、名古屋大学は、一昨年から TOEFL iBT のテストセンターになりましたので、TOEFL テスト ITP も、TOEFL iBT も受けられるようにした、ということも重要だと思っています。

ライティング力をつける

ライティングについては、ライティング・センターを作って指導すると伺っています。ライティングの指導は、特に一番時間のかかることだと思いますがそのあたりのお考えをお聞かせください。

そうですね。特に理系ですと論文も英語で書きますし、ライティングが出来ないことには仕事になりません。もちろん、コミュニケーションも大事ですけど、コミュニケーションというのは、変な言い方ですが、こちらに話すべき内容があって、相手が聞きたいと思っていれば、ある程度成立します。ですからまずは話す中身を身に付けることが、コミュニケーションの元だと思います。反対にライティングは、その中身を表す全てですから、ここはちゃんとしないうりアウトです。今はコミュニケーション重視で、ライティングとリーディングのレベルが下がっている印象を受けますが、もう 1 回ライティングとリーディングを復活させて、さらにプラスでコミュニケーションも出来るようにしないと、学会発表も出来ないし、注目を集めるこ

とも出来ません。そういった意味で、インターナショナルに活躍出来る人を育てたいと思っています。

リーディングでしたら自学自習でもある程度出来ますし、自分で補うこともできますけれど、ライティングだけはどうしても、誰かの添削が必要ですね。

そう、難しいですね。今年、TOEFL テスト ITP がかなりの高得点でも Criterion では逆に低い点数になることがありました。普通の会話などは非常に流暢でも、理論だった文章を書くのとは違うんですね。恐らくそういった書く訓練をしたことがなかったのだと思います。この件で、Criterion を使うことによって、こういったことがちゃんと判断出来るのだと安心しました。結果として TOEFL テスト ITP とともに、Criterion も導入したというのは非常に良かったと思っています。

実際に海外に行ってみること

先生も体験しておられますが、実際に海外に行ってみて、自分の英語力に気付くことは、かなり大きな意味がありますね。

それは大きいと思います。私はほとんど外国に行っていない人間ですが、核融合の分野の研究で選ばれて、アメリカの有名な核開発施設に3週間足らずいたのが一番長い外国経験です。核の研究所なので、実際に研究開発を行っている場所は警備が非常に厳重で、大事なところは、限定された範囲のみ1時間しか見学させてもらえませんでした。その時の私の英語力は、派遣者選抜の面接でお前の英語力はどうだと聞かれたときに、相手がインテリなら大丈夫だという答えをして面接官に大笑いされました。先ほどと同じ理由で、こちらにしゃべる中身があって、あちらが聞きたいと思えば通じますが、そうでなければ通じませんと言ったところ、自分の英語会話力の無さをようわかっとなるなど言われました。それでも向こうに行っている間には、相当話したり聞いたりしていたのですが、帰国してから1年後にその研究所から研究者が来た時に、お前そんなに英語が下手だったのかと言われました。アメリカに居たときはもっと普通に話していただろうと。ここは日本だから、英語の頭じゃないぞと言いましたけれど。今は英語教育も変わり、結構海外に行っているのだからうらやましいですね。

環境的には確かに機会は増えていますよね。ただ逆に、それが当たり前と思っていると、やはり結局は身につかないですね。体験するからこそ身に染みてくるということですよ。自分がこういう風に言うと、通じるのだと。書くのは別としても、話すのは度胸ですよ。

度胸度何点とかは出ないですけどね(笑)。今回は TOEFL テスト ITP と Criterion によって統計的に出ましたので、嬉しかったです。

今後の方向性

これまでのお話で触れていただけていますが、もう少し長いスパンで見たときには、名古屋大学はどのような方向に向かっていかれるのでしょうか。

少なくとも数年は同じ形で実施して、底上げのところが何とか見えてきたので、今度は上をどう伸ばすか、そして全体をどう上げるか、ということの一つずつやって行きたいと思います。2サイクルか3サイクルすると問題点が見えてくると思うので、そこにテコ入れをする。将来どうするかというのを申し上げるのは、まだ難しい段階ですが、少なくとも今、大学として目論んでいることはなんとか進んでいると思います。まずは一度やってみて、それを積み上げて、その上でどうするかということですね。

効果が見えてきていらっしゃるということは私どもも嬉しく思います。CIEEではTOEFLテストだけでなく、海外交流プログラムでもお手伝いさせていただいていますので、何かお役に立つところがあれば、ぜひお声がけください。本日は貴重なお時間をいただきまして、ありがとうございました。

3. 講義資料

学部および大学院で使用した講義資料につきましては、電子化されて入手可能となっています。
以下にアドレス等記載します。

同位体分離工学特論

「同位体分離カスケードに関する研究」

名古屋大学学術機関リポジトリ

<http://hdl.handle.net/2237/6560>

移動現象論

「移動現象論 講義メモ」

名大の授業 NUOCW(Nagoya University Open Course Ware)

工学部/工学研究科

<http://ir.nul.nagoya-u.ac.jp/jspui/bitstream/2237/19326/1/00TRTEXT.pdf>

なお、最終講義についても NUOCW に収録されます。

4. 著書論文一覽

著書

1	原子カハンドブック 4章ウラン濃縮, オーム社, Nov. 2007
2	日本における同位体分離のあゆみ 第2部・第2章(4)熱拡散法, 日本原子力学会, Apr. 1998
3	純度化技術大系 第2巻 分離技術 熱拡散法, フジテクノシステム, Feb. 1997
4	核融合研究(II) 第3章 主燃料系, 名古屋大学出版会, Nov. 1995
5	分離精製先端技術体系 第15章 原子工学における分離精製技術 第2節 ウランの同位体分離(2)ガス遠心分離法, 日本化学会編・丸善, Apr. 1993
6	分離化学ハンドブック 元素および無機化合物の分離, ウラン同位体 (1)ガス拡散法, (2)遠心分離法, 共立出版, Feb. 1993
7	原子力の技術 第3・4巻 燃料リサイクル第12章 ウラン濃縮, 筑摩書房, May. 1987

論文

1	Transient response simulation of gas separation membrane module for an atmosphere detritiation system, T. Sugiyama, M. Tanaka, K. Munakata, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Engineering and Design, vol.87, no.7-8, p1181-1185, Aug.2012
2	Hydrogen-tritium isotope separation by CECE process with a randomly packed LPCE column, T. Sugiyama, E. Suzuki, M. Tanaka, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Science and Technology, vol.60, no.4, p1323-1326, Nov.2011
3	Extraction of Hydrogen and Tritium Using High-Temperature Proton Conductor for Tritium Monitoring, M. Tanaka, T. Sugiyama, T. Ohshima, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Science and Technology, vol.60, no.4, p1391-1394, Nov.2011
4	A simulation model for transient response of a gas separation module using a hollow fiber membrane, T. Sugiyama, N. Miyahara, M. Tanaka, K. Munakata, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Engineering and Design, vol.86, no.9-11, p2743-2746, Oct.2011
5	Performance tests of tritium separation by LPCE column at TLK facility, T. Sugiyama, M. Tanaka, I. Cristescu, L. Dorrr, S. Welte, S. Michling, Y. Asakura, T. Uda, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Science and Technology, vol.56, no.2, p861-866, Aug.2009
6	Development of an improved LPCE column for the TLK facility with the help of the channeling stage model, T. Sugiyama, M. Tanaka, K. Munakata, Y. Asakura, Y. Uda, <u>I. Yamamoto</u> , I. Cristescu, L. Doerr, Fusion Engineering and Design, vol.83, no.10-12, p1442-1446, Dec.2008
7	Effects of the gas-liquid ratio on the optimum catalyst quantity for the CECE process with a homogeneously packed LPCE column, T. Sugiyama, A. Ushida, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Engineering and Design, vol.83, no.10-12, p1447-1450, Dec.2008
8	Liquid metal extraction for removal of molybdenum from molten glass containing simulated nuclear waste elements, K. Uruga, K. Sawada, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.45, no.10, p1063-1071, Oct.2008
9	Recovery of metals from simulated high-level radioactive waste glass through phase separation, K. Uruga, K. Doka, K. Sawada, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.45, no.9, p889-898, Sep.2008
10	Preface of supplement on isotope science and engineering from basics to applications, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, supplement 6, Sep.2008

11	Hydrogen isotope separation by combined electrolysis and random-packed chemical exchange column, T. Sugiyama, <u>I. Yamamoto</u> , 2-nd Japan-China Workshop on Blanket and Tritium Technology, p92-95, May.2008
12	Preparation of hydrophobic platinum catalysts using a water-in-CO ₂ microemulsion, R. Shimizu, A. Nibe, K. Sawada, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , The Journal of Supercritical Fluids, vol.44, no.1, p109-114, Feb.2008
13	Conversion of uranium oxide into nitrate with nitrogen dioxide, K. Sawada, D. Hirabayashi, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Power and Energy Systems, vol.2, no.2, p557-569, Feb.2008
14	Vitrification of high-level radioactive waste considering the behavior of platinum group metals, K. Uruga, K. Sawada, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Progress in Nuclear Energy, vol.50, no.2-6, p514-517, Feb.2008
15	Influence of the size of collecting metal on removal of platinum group metals from molten glass, K. Uruga, K. Sawada, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Power and Energy Systems, vol.2, no.1, p198-205, Jan.2008
16	Overview of recent Japanese activities and plans in fusion technology, <u>I. Yamamoto</u> , T. Nishitani, A. Sagara, Fusion Science and Technology, vol.52, no.3, p347-356, Oct.2007
17	Electrochemical studies on uranium in the presence of organic acids, Y. Suzuki, T. Nankawa, T. Ozaki, T. Ohnuki, A.J. Francis, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.44, no.9, p1227-1232, Sep.2007
18	Removal of platinum group metals contained in molten glass using copper, K. Uruga, K. Sawada, Y. Arita, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.44, no.7, p1024-1031, Jul.2007
19	超臨界流体からのウランの逆抽出に関する研究, 島田隆, 小雲信哉, 石原信夫, 澤田佳代, 榎田洋一, <u>山本一良</u> , 日本原子力学会和文論文誌, vol.6, no.3, p333-342, Jul.2007
20	Decontamination of tritiated water using superhydrophobic Pt-Catalyst synthesized with water-in-supercritical CO ₂ , Y. Enokida, R. Shimizu, K. Sawada, <u>I. Yamamoto</u> , Proceedings of American Nuclear Society Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination and Reutilization, CD-ROM, 2007
21	Electrochemical studies on uranium in the presence of organic acids, Y. Suzuki, T. Nankawa, T. Ozaki, T. Ohnuki, A.J. Francis, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.44, no.9, p1227-1232, Apr.2007
22	超臨界直接抽出法による再処理プラントの概念と特徴, 島田隆, 小雲信哉, 石原信夫, 澤田佳代, 榎田洋一, <u>山本一良</u> , 日本原子力学会和文論文誌, vol.6, no.2, p214-224, Mar.2007
23	An option making for nuclear fuel reprocessing by using supercritical carbon dioxide, Y. Enokida, K. Sawada, T. Shimada, <u>I. Yamamoto</u> , Proceedings of the International Conference on Advanced Nuclear Fuel Cycle and Systems, p1029-1032, Sep.2007
24	Selective extraction of uranium from a mixture of metal or metal oxides by a tri-n-butylphosphate Complex with HNO ₃ and H ₂ O in supercritical CO ₂ , S. Ogumo, K. Sawada, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Analytical Sciences, vo.22, no.11, p1387-1391, Nov.2006
25	Extractability of metals in municipal solid wastes fly ash using supercritical CO ₂ containing Cyanex 302, K. Sawada, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Analytical Sciences, vol.22, no.11, p1465-1467, Nov.2006
26	Redox behavior of uranium in the presence of citric acid, Y. Suzuki, T. Nankawa, Z. Yoshida, T. Ozaki, T. Ohnuki, A.J. Francis, S. Tsushima, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Radiochimica Acta, vol.94, no.9, p579-583, Nov.2006
27	Reduction behavior of uranium in the presence of citric acid, Y. Suzuki, T. Nankawa, T. Yoshida, T. Ozaki, T. Ohnuki, A.J. Francis, S. Tsushima, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Radiochimica Acta, vol.94, no.9-11, p579-583, Nov.2006

28	Decontamination of radioactive contaminants from iron pipes using reactive microemulsion of organic acid in supercritical carbon dioxide, R. Shimizu, K. Sawada, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.43, no.6, p694-698, Jun.2006
29	Special issue on isotope science and engineering from basics to applications, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.43, no.4, 2006
30	Preface of the special issue on isotope science and engineering from basics to applications, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.43, no.4, Apr.2006
31	Present status of hydrogen isotope separation by CECE process at the NIFS, T. Sugiyama, Y. Asakura, T. Uda, T. Shinozaki, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Engineering and Design, vol.81, no.1-7, p833-838, Feb.2006
32	Interactions of rare earth elements with bacteria and organic ligands, T. Ozaki, Y. Suzuki, T. Nankawa, T. Yoshida, T. Ohnuki, T. Kimura, A.J. Francis, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Alloys and Compounds, vol.408-412, p1334-1338, Feb. 2006
33	Microbial reduction of selenium and its influence on radionuclide transport in the environment, X. Xia, S. Akasaka, Y. Enokida, T. Ohnuki, Y. Suzuki, K. Sawada, I. Yamamoto, Proceedings of the 2-nd Asia Oceanic Congress on Radiological Protection 2006, p194-195, 2006
34	Densities of Supercritical fluids containing CO ₂ and tri-n-butylphosphate, K. Sawada, O. Tomioka, T. Shimada, Y. Mori, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.43, no.1, p98-102, Jan.2006
35	Generation of nitrous acid by ultrasound irradiation in the organic solution consisting of tri-n-butylphosphate, nitric acid and water, R. Shimizu, K. Sawada, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.42, no.11, p979-983, Nov.2005
36	Biodegradation of Eu(III)-citrate complexes by Pseudomonas fluorescens, Y. Suzuki, T. Nankawa, Z. Yoshida, T. Ozaki, T. Ohnuki, A.J. Francis, S. Tsushima, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , J. Radioanalytical and Nuclear, vol.266, no.2, p199-204, Nov.2005
37	Studies on hydrogen extraction characteristics of proton-conducting ceramics and their applications to a tritium recovery system and a tritium monitor, M. Tanaka, Y. Asakura, T. Uda, K. Katahira, H. Iwahara, N. Tsuji, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Science and Technology, vol.48, no.1, p51-54, Jul.-Aug.2005
38	Sorption of Eu(III) on Pseudomonas fluorescens in the presence of citric acid, Y. Suzuki, T. Nankawa, Z. Yoshida, T. Ozaki, T. Ohnuki, A.J. Francis, S. Tsushima, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , J. Nuclear and Radiochemical Science, vol.6, p91-93, Jul.2005
39	Hydrogen Isotope Separation by Combined Electrolysis Catalytic Exchange under Reduced Pressure, T. Sugiyama, Y. Asakura, T. Uda, Y. Abe, T. Shiozaki, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Science and Technology, vol.48, no.1, p132-135, Jul.-Aug.2005
40	Overview of recent Japanese activities in fusion technology, M. Seki, <u>I. Yamamoto</u> , A. Sagara, Fusion Science and Technology, vol.47, no.3, p300-307, Apr.2005
41	Stoichiometric relation for extraction of uranium from UO ₂ powder using TBP complex with HNO ₃ and H ₂ O in supercritical CO ₂ , K. Sawada, K. Uruga, T. Koyama, T. Shimada, Y. Mori, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.42, no.3, p301-304, Mar.2005
42	Recycle of calcium in incineration process of low level radioactive waste, K. Sawada, M. Suzuki, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Proceedings of Actinides 2005, p157, 2005
43	Supercritical fluid extraction of rare earth elements from luminescent material in waste fluorescent lamps, R. Shimizu, K. Sawada, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , The Journal of Supercritical Fluids, vol.33, no.3, p235-241, Mar.2005

44	Biotransformation of Eu(III)-citrate complex by <i>Pseudomonas fluorescens</i> , Y. Suzuki, T. Nankawa, T. Yoshida, T. Ozaki, T. Ohnuki, A.J. Francis, S. Tsushima, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol.266, p199-204, Feb.2005
45	Decontamination of uranium oxides from solid wastes by supercritical CO ₂ fluid leaching method using HNO ₃ -TBP complex as a reactant, Y. Meguro, S. Iso, Z. Yoshida, O. Tomioka, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Supercritical Fluids, vol.31, no.2, p141-147, Oct.2004
46	Hydrogen extraction characteristics of proton-conducting ceramics under a wet air atmosphere for a tritium stack monitor, M. Tanaka, K. Katahira, Y. Asakura, T. Uda, H. Iwahara, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.41, no.10, p1013-1017, Oct.2004
47	Preliminary experiments on hydrogen isotope separation by water-hydrogen chemical exchange under reduced pressure, T. Sugiyama, Y. Asakura, T. Uda, Y. Abe, T. Shiozaki, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.41, no.6, p696-701, Jun.2004
48	Processing of nuclear materials through supercritical carbon dioxide, Y. Enokida, K. Sawada, <u>I. Yamamoto</u> , Proceeding of 11-st International Symposium and Exhibit on Supercritical Fluid Chromatography, Extraction and Processing, p111-112, 2004
49	Hydrogen extraction using one-end closed tube made of CaZrO ₃ -based proton-conducting ceramic for tritium recovery system, M. Tanaka, K. Katahira, Y. Asakura, T. Uda, H. Iwahara, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.41, no.1, p61-67, Jan.2004
50	Effect of plated platinum electrode on hydrogen extraction performance using CaZrO ₃ -based proton-conducting ceramic for tritium recovery system, M. Tanaka, K. Katahira, Y. Asakura, T. Uda, H. Iwahara, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.41, no.1, p95-97, Jan.2004
51	H ₂ -HT separation using "cryogenic-wall" thermal diffusion column with heated-tube, N. Kobayashi, R. Hirano, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Science and Technology, vol.44, no.2, p415-419, Sep.2003
52	Extraction of uranium and lanthanides from their oxides with a high-pressure mixture of TBP-HNO ₃ -H ₂ O-CO ₂ , Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , C.M. Wai, ACS Symposium Series, vol. 860, p10-22, Aug.2003
53	Experimental study for parameters affecting separation factor of cryogenic wall thermal diffusion column, T. Arita, T. Yamanishi, Y. Iwai, M. Nishi, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Science and Technology, vol.41, no.3, p1116-1120, Feb.2003
54	Use of supercritical carbon dioxide for chromatographic separation of lithium isotopes, <u>I. Yamamoto</u> , The 8-th Workshop on Separation Phenomena in Liquids and Gases, CD-ROM, 2003
55	Selective recovery of neodymium from oxides by direct extraction method with supercritical CO ₂ containing TBP-HNO ₃ complex, O. Tomioka, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Separation Science and Technology, vol.37, no.5, p1153-1162, May.2002
56	Nitrogen isotope separation with displacement chromatography using a cryptand polymer, H. Sugiyama, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.39, no.4, p442-446, Apr.2002
57	Isotope separation of H ₂ -HD gas mixture with "Cryogenic-Wall" thermal diffusion column with a heated tube, N. Kobayashi, R. Hirano, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.39, no.4, p431-434, Apr.2002
58	Vapor-liquid equilibrium of UO ₂ (NO ₃) ₂ ·2TBP and supercritical carbon dioxide mixture, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, Suppl.3, p270-273, Feb.2002
59	Dissolution behavior of uranium oxides with supercritical CO ₂ using HNO ₃ -TBP complex as a reactant, O. Tomioka, Y. Meguro, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Z. Yoshida, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.38, no.12, p1097-1102, Dec.2001

60	Isotopic approximations to thermal diffusion factor and ordinary diffusion coefficient in a mixture of more than 4 components, N. Kobayashi, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.38, no.8, p682-688, Aug.2001
61	New method for the removal of uranium from solid wastes with supercritical CO ₂ medium containing HNO ₃ -TBP complex, O. Tomioka, Y. Meguro, S. Iso, Z. Yoshida, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.38, no.6, p461-462, Jun.2001
62	Estimation of hot wire temperature of thermal diffusion column by the pressure change after turning on electricity, H. Yamakawa, S. Mori, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.37, no.9, p807-813, Sep.2000
63	Effect of cold wall temperature of thermal diffusion column on ¹⁴ N ¹⁵ N- ¹⁴ N ₂ isotope separation, H. Yamakawa, S. Mori, Y. Takenaga, N. Kobayashi, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.37, no.8, p710-715, Aug.2000
64	Cleaning of materials contaminated with metal oxides through supercritical fluid extraction with CO ₂ containing TBP, O. Tomioka, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , T. Takahashi, Progress in Nuclear Energy, vol.37, no.1-4, p417-422, Apr.2000
65	Thermal diffusion factor for diatomic gas mixture in multicomponent system, H. Yamakawa, N. Kobayashi, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.37, no.4, p397-404, Apr.2000
66	Separative analyses of packed water distillation column with channeling stage model, T. Sugiyama, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vo.37, no.3, p273-280, Mar.2000
67	Numerical analyses of isotopic concentration profiles in displacement chromatography for lithium isotope separation, H. Araki, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.37, no.3, p267-272, Mar.2000
68	A solution of a material balance equation of channeling stage model for a simple case of a water distillation column, T. Sugiyama, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.36, no.10, p959-961, Oct.1999
69	Experimental study of separative characteristics of cryogenic-wall thermal diffusion column for H-D and H-T mixtures, T. Arita, T. Yamanishi, K. Okuno, I. Yamamoto, Fusion Engineering and Design, vol.39-40, p1021-1026, Sep.1998
70	Effect of partition wall within packings on separative performances of water distillation for H ₂ O-H ₂ O isotope separation, T. Sugiyama, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.36, no.8, p691-697, Aug.1999
71	Effect of operational pressure on periodic oscillation of secondary circulation near the bottom of thermal diffusion column, H. Yamakawa, H. Matsumoto, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.36, no.3, p297-303, Mar.1999
72	Numerical analysis of dynamic behavior at start-up of thermal diffusion column for hydrogen isotope separation, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , H. Yamakawa, K. Matsumoto, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.36, no.2, p198-203, Feb.1999
73	Effect of inner radius of wetted-wall column on separative performance of H ₂ O-H ₂ O water distillation, T. Sugiyama, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.35, no.10, p723-727, Oct.1998
74	Effect of flow rate on height equivalent to a theoretical plate for a lithium isotope separation with displacement chromatography, H. Araki, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.35, no.10, p692-696, Oct.1998

75	Effect of gravity and intermolecular potential on ^3He - ^4He separative performances of 'cryogenic-wall' thermal diffusion column, H. Yamakawa, A. Segi, N. Kobayashi, T. Matsunaga, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Engineering and Design, vol.39-40, p1015-1020, Sep.1998
76	Channeling stage model for separative analysis of packed water distillation column, T. Sugiyama, Y. Kamewaka, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Engineering and Design, vol.39-40, p1027-1032, Sep.1998
77	Effect of development speed on separative performance of displacement chromatography using porous ion exchange resin for Li isotope separation, H. Araki, M. Umeda, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Engineering and Design, vol.39-40, p1009-1013, Sep.1998
78	Solvent extraction of lanthanides from their oxides with TBP in supercritical carbon dioxide, O. Tomioka, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.35, no.7, p515-516, Jul.1998
79	Inverse power series fitting of temperature dependence of thermal diffusion factors between two component of hydrogen isotope molecules, H. Yamakawa, N. Kobayashi, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.35, no.3, p234-239, Mar.1998
80	Simultaneous solution of concentration profiles in vapor-liquid phases of wetted-wall distillation column for H_2O -HTO isotope separation, T. Sugiyama, Y. Kato, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.35, no.1, p60-65, Jan.1998
81	Distribution coefficient correlations for nitric acid, U(VI) and Pu(IV) in two-phase system with aqueous nitric acid and 30% tri-n-butylphosphate solutions, Y. Enokida, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.34, no.7, p700-707, Jun.1997
82	Isotopic approximation to thermal diffusion coefficient in multi-component mixture, N. Kobayashi, H. Yamakawa, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.34, no.4, p394-397, Apr.1997
83	Isotopic approximation to ordinary diffusion coefficients in multi-component mixture, N. Kobayashi, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.34, no.3, p318-324, Mar.1997
84	Explicit approximation to thermal diffusion factor in isotopic 3-component mixture, N. Kobayashi, H. Yamakawa, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.34, no.2, p167-175, Feb.1997
85	Comparison of expressions of thermal diffusion phenomena in multi-component mixture, N. Kobayashi, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.34, no.1, p73-79, Jan.1997
86	Effect of radii of hot and cold walls on H_2 -HT separative performances of "cryogenic-wall" thermal diffusion column, N. Kobayashi, S. Hatta, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Technology, vol.30, no.3, p936-940, Dec.1996
87	A tritium recovery system from waste water of fusion reactor using CECE and cryogenic-wall thermal diffusion column, T. Arita, T. Yamanishi, Y. Iwai, K. Okuno, N. Kobayashi, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Technology, vol.30, no.3, p864-868, Dec.1996
88	Numerical solution of argon 36-38-40 concentration profiles within thermal diffusion column, N. Kobayashi, A. Shibata, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.33, no.10, p781-786, Oct.1996
89	Diffusion coefficients in 4-component mixture expressed explicitly in terms of binary diffusion coefficients and mole fractions, H. Furuta, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.33, no.8, p650-653, Aug.1996
90	Comparison of definitions of ordinary diffusion coefficients in multi-component mixture, N. Kobayashi, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.33, no.8, p663-667, Aug.1996

91	Thermal diffusion coefficient in multi-component mixture expressed in terms of binary thermal diffusion factors and binary diffusion coefficients, N. Kobayashi, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.32, no.12, p1236-1242, Dec.1995
92	Tritiated water processing using liquid phase catalytic exchange and solid oxide electrolyte cell, H. Yamai, S. Konishi, M. Hara, K. Okuno, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Technology, vol.28, no.3, p1591-1596, Oct.1995
93	Measurement of isotopic abundance ratio of argon-36, -38, and -40 by general-purpose double-focused mass spectrometer, <u>I. Yamamoto</u> , A. Matsuo, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.32, no.5, p488-492, May.1995
94	State of the art of separative analysis of cryogenic-wall thermal diffusion column for hydrogen isotope separation, <u>I. Yamamoto</u> , N. Kobayashi, A. Kanagawa, Fusion Technology, vol.28, no.3, p785-790, Oct.1995
95	Optimum feed point for isotope separating thermal diffusion column, <u>I. Yamamoto</u> , H. Makino, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.32, no.3, p200-205, Mar.1995
96	Effect of cold-wall temperature on ^3He - ^4He separative performances "cryogenic-wall" thermal diffusion column, <u>I. Yamamoto</u> , A. Segi, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.31, no.4, p314-320, Apr.1994
97	Simple model for prediction of changes in hot-wire temperature caused by convection at top and bottom of thermal diffusion column, <u>I. Yamamoto</u> , A. Shibata, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.31, no.3, p222-227, Mar.1994
98	Effects of flow circulation on hot-wire temperature at top and bottom of thermal diffusion column for isotope separation, <u>I. Yamamoto</u> , S. Hatta, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.30, no.11, p1160-1166, Nov.1993
99	Similarity in pressure dependence among separation factors of thermal diffusion column in total-reflux operation, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.30, no.8, p831-833, Aug.1993
100	Recent progress in isotope separation by thermal diffusion, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Radioisotopes, vol.42, no.5, p315-316, May.1993
101	Separation of hydrogen isotopes by the 'cryogenic-wall' thermal diffusion column, K. Hirata, A. Matsumoto, T. Yamanishi, <u>I. Yamamoto</u> , K. Okuno, Y. Naruse, Fusion Technology, vol.21, no.2, p937-941, Mar.1992
102	Effect of the cold-wall temperature of the separative performance of A cryogenic-wall thermal diffusion column for H_2 -HT isotope-separation, <u>I. Yamamoto</u> , Fusion Technology, vol.21, no.2, p977-982, Mar.1992
103	Separation of hydrogen isotopes by an advanced thermal diffusion column using cryogenic-wall, <u>I. Yamamoto</u> , M. Takakuwa, H. Makino, A. Kanagawa, J. Mitsui, Y. Okada, F. Sakai, T. Ide, Fusion Technology, vol.19, no.3, Pt.2B, p1646-1650, Mar.1991
104	Optimum cut of separating element as a function of total separation factor and mole fraction of component to be separated, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.28, no.9, p858-862, Sep.1991
105	Effect of operating pressure on hydrogen-hydrogen tritide (HT) separative performances of "cryogenic-wall" thermal diffusion column with continuous feed and draw-offs, <u>I. Yamamoto</u> , M. Takakuwa, H. Makino, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.28, no.4, p321-330, Apr.1991
106	Upper limits of separation factors of binary-mixture separating element as a function of cut and feed mole fraction, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.27, no.12, p1151-1152, Dec.1990

107	Preliminary experiments of separation of hydrogen isotopes by "cryogenic-wall" thermal diffusion column, K. Hirata, T. Ide, J. Mitsui, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, T. Yamanishi, K. Okuno, Y. Naruse, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.27, no.7, p674-677, Jul.1990
108	Optimum cut of separating element as a function of total separation factor, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.27, no.6, p584-586, Jun.1990
109	Numerical calculation of hydrogen-tritiated hydrogen (H ₂ -HT) separative performances up to apprx. 0.3 MPa of thermal diffusion column with high hot-wire temperature, <u>I. Yamamoto</u> , M. Takakuwa, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.27, no.7, p631-641, Jul.1990
110	Possibility of remarkable enhancement of separation factor by "cryogenic-wall" thermal diffusion column, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.27, no.3, p250-255, Mar.1990
111	Optimum pressure for total-reflux operated thermal diffusion column for isotope separation, <u>I. Yamamoto</u> , H. Makino, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.27, no.2, p149-156, Feb.1990
112	Approximate column constants expressed in terms of design parameters for hot-wire thermal diffusion column, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.27, no.1, p49-55, Jan.1990
113	Interpretation of mueller-klemm's semiempirical formula by mason-monchick approximation for thermal diffusion factor of hydrogen isotope molecules, <u>I. Yamamoto</u> , A. Matsuo, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.26, no.11, p1058-1060, Nov.1989
114	H ₂ O-HTO isotope separation by distillation of water - a dynamics of HETP of SUS dixon ring in a small packed column, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kaba, A. Kanagawa, "Fusion Engineering and Design, vol.10, p315-318, Jun.1989
115	Rough estimate of thermal diffusion factor for hydrogen-tritiated hydrogen (H ₂ -HT) isotopic mixture by separative measurement using thermal diffusion column, <u>I. Yamamoto</u> , A. Matsuo, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.25, no.11, p857-867, Nov.1988
116	Measurement of HETP of SUS dixon ring and porcelain packing in small-scale water distillation column for water-tritiated water isotope separation, A. Kaba, R. Akai, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.25, no.10, p825-830, Oct.1988
117	Pressure dependence of separative characteristics of thermal diffusion column for hydrogen (H ₂ -HT) isotope separation, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kaba, A. Kanagawa, Fusion Technology, vol.14, no.2, p590-595, Sep.1988
118	Measurement of separative characteristics of hydrogen (H ₂ -HT) isotope separation using thermal diffusion column, <u>I. Yamamoto</u> , A. Inoue, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.25, no.9, p704-711, Sep.1988
119	Variable stage-number model for simulating batch operation of water distillation column for tritium isotope separation, A. Kaba, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.25, no.7, p586-593, Jul.1988
120	Numerical analysis of laminar free convection in square cavity containing heat generating Kr-85-Gas, <u>I. Yamamoto</u> , T. Yamashita, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.25, no.5, p429-440, May.1988
121	Attachment of membrane separator for removal of radon to ionization chamber installed for tritium stack monitor, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kaba, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.25, no.3, p289-294, Mar.1988

122	Reference mean temperature for evaluation of performance of thermal diffusion column for isotope separation, erratum, A. Kaba, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.25, no.1, p106, Jan.1988
123	Simple formulas for analyzing matched abundance ratio cascade with constant separation factors for multicomponent isotope separation, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kaba, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.24, no.11, p969-971, Nov.1987
124	Measurement of separative characteristics of thermal diffusion column for argon isotope separation, <u>I. Yamamoto</u> , T. Baba, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.24, no.7, p565-572, Jul.1987
125	Reference mean temperature for evaluation of performance of thermal diffusion column for isotope separation, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.24, no.6, p470-479, Jun.1987
126	Numerical calculation of concentration profiles within thermal diffusion column with continuous feed and draw-offs, <u>I. Yamamoto</u> , K. Yamagishi, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.24, no.5, p393-403, May.1987
127	Effect of changes in feed rate and cut on circulating flow within thermal diffusion column for isotope separation, <u>I. Yamamoto</u> , K. Yamagishi, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.23, no.10, p896-904, Oct.1986
128	Numerical solution of two-dimensional axisymmetric free convection within isotope separating thermal diffusion column, <u>I. Yamamoto</u> , K. Kanoh, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.22, no.6, p469-483, Jun.1985
129	Additive property of separative power, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol. 17, no.11, p831-838, Nov.1980
130	Meaning of functions representing separative power, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.16, no.11, p818-822, Nov.1979
131	Preliminary experiments of tritium isotope separation by water distillation, I. Yamamoto, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.16, no.1, p43-18, Feb.1979
132	Synthesis of value function for multicomponent isotope separation, I. Yamamoto, A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.16, no.1, p43-48, Jan.1979
133	Comparison of two types of ideal cascades for asymmetric separation processes, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.15, no.10, p786-788, Oct.1978
134	Multicomponent isotope separating cascade composed of elements with large separation factors, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.15, no.8, p580-584, Aug.1978
135	Separative power of ideal cascade with variable separation factor, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.15, no.8, p580-584, Jun.1978
136	Separative power of 2-up 1-down ideal cascades, A. Kanagawa, <u>I. Yamamoto</u> , Y. Mizuno, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.14, no.12, p892-900, Dec.1977
137	Resolution of inconsistencies of separative power for asymmetric process, Separative power with respect to desired and undesired materials, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.14, no.8, p565-571, Aug.1977
138	Value function and separative power for an asymmetric separation process, A. Kanagawa, <u>I. Yamamoto</u> , Journal of Nuclear Science and Technology, vol.14, no.8, p565-571, Apr.1977
139	Effect of reflux in uranium enriching cascade, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.13, no.12, p731-737, Dec.1976

140	Effect of stage cut deviation on uranium enriching cascade performances, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.13, no.4, p179-189, Apr.1976
141	Analytical solution for real cascade equation in steady state, <u>I. Yamamoto</u> , A. Kanagawa, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.12, no.2, p120-127, Feb.1975

解説論文

1	核エネルギーは未来への夢を与えられるか, <u>山本一良</u> , 化学工学, vol.59, no.12, p866-870, Dec.1995
2	TFTRのDT実験 4.トリチウムシステム, <u>山本一良</u> , プラズマ・核融合学会誌, vol.71, no.3, p235-240, Mar.1995
3	水素同位体分離研究の現状, <u>山本一良</u> , プラズマ・核融合学会誌, vol.71, no.3, p202-211, Mar.1995
4	安定同位体の分離・製造(日本原子力学会誌特集・広がる安定同位体の利用), <u>山本一良</u> , 日本原子力学会誌, vol.35, no.11, p975-977, Nov.1993
5	熱拡散法による同位体分離の最近の進歩, <u>山本一良</u> , Radioisotopes, vol.42, p135, May.1993
6	トリチウム精製および水素の同位体分離, トリチウム資料集, <u>山本一良</u> , 文部省・化学研究費補助金・核融合特別研究・総合統括班, p31-36, 1988
7	送・排気用ポンプ類, トリチウム資料集, <u>山本一良</u> , 文部省・化学研究費補助金・核融合特別研究・総合統括班, p27-30, 1988
8	燃料の移送・排気・真空技術, <u>山本一良</u> , 金川 昭, 日本原子力学会 核融合炉設計及び研究開発の現状, p519-525, Nov.1980