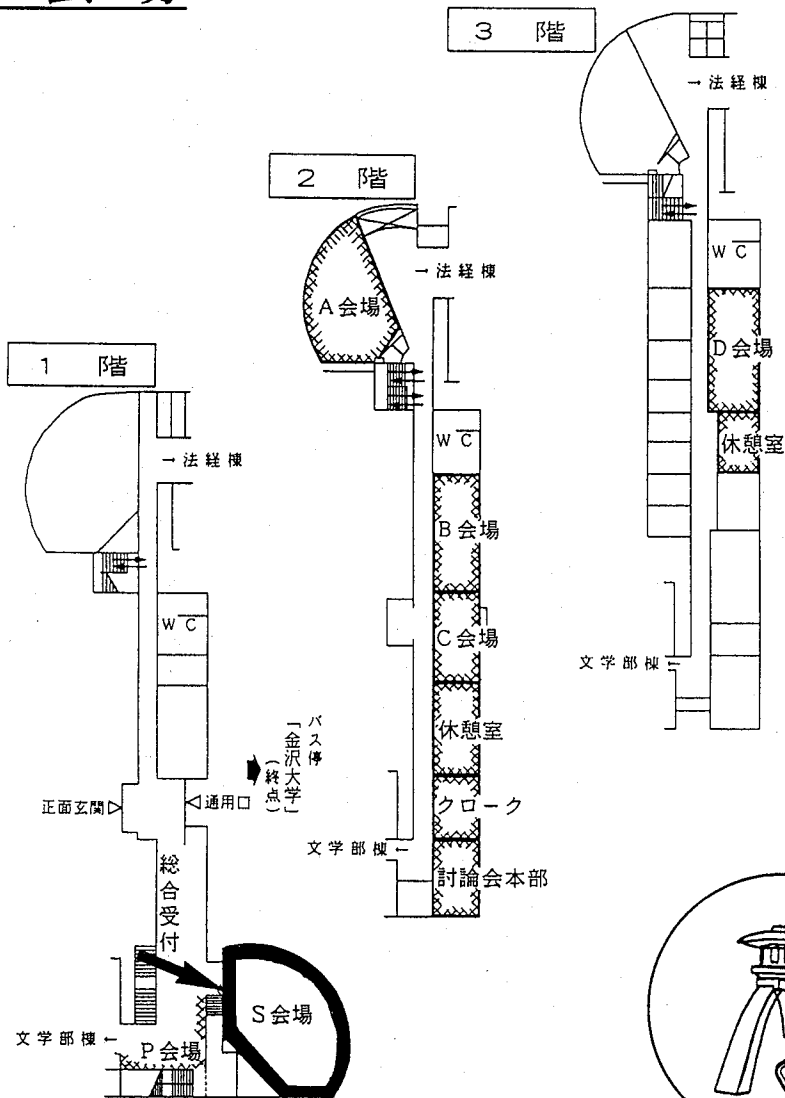


特別講演

S会場



S 会 場

第1日 10月6日(水)

1S01 石原健彦

1S02 更田豊治郎

第2日 10月7日(木)

2S01 G. F. Herrmann

日本原子力産業会議

石原 健彦

放射化学研究者に多少の関わりがあると思われる最近の放射性廃棄物関係の話題を3つとりあげる。

1・廃棄物の範囲の拡大と関連分野の活発化

放射性廃棄物の処理、貯蔵、処分等は原子力分野の副次的問題であり、全体の中で比較小さい部分を占めているにすぎない。それが原子力発電、安全性、核燃料サイクル等の問題がほぼ落着いてくるにつれ、残された課題として次第に注目されるようになってきた。

放射性廃棄物といっても、近年は放射性物質だけでなく有害物質と両者により汚染されたいわゆる混合廃棄物もその範囲にとりいれられ、それらの処理処分、それらにより汚染された不用施設のデコミッションング、汚染された環境を元にもどす環境回復まで課題として取り上げられている。米国でも数年前までは高レベル廃棄物の処理処分が最重要課題として論じられていたが、最近では放射能のほか有機溶剤や重金属で汚染された土壌や地下水の処理が中心課題になりつつある。冷戦時代に進められた核物質生産、核兵器試験、関連試験研究等により汚染された軍事核施設とその周辺環境の浄化、廃棄物対策および環境回復が、米国だけでなくロシアにおいても原子力分野の優先課題にあげられ、膨大な予算がわりふられるようになった。米国ではこの状態が今後30年間は続けられようというので、この新しいマーケットにむかって新旧の企業が殺到している。

しかし法的規制の厳しさとは裏腹に、その技術となると有害溶剤を考慮して加熱焼却、溶媒洗浄、通気蒸発、地中固定、微生物分解等の方法が種々試みられている段階であり、実用技術は確立されていないといってよい。膨大な予算も現在は汚染状況の測定調査、対策の立案協議と各種処理法の試験評価にしか使われていない。

わが国の放射性廃棄物の処理技術や空気汚染および水汚染の対策技術については、国際的に高い評価をうけているが、海外で中心的話題となっている土壌汚染対策についてはかなり遅れている。法律に有害廃棄物に相当する特別管理廃棄物の条項が定められたのは1991年であり、1989年の有害廃棄物越境規制バーゼル条約をうけいれるため法改正と特定有害廃棄物輸出入規制法の制定を行なったのは93年であった。これらが適切に運用され海外諸国並の取扱いが行なわれるようになるのは今後のことであり、当然ながら新技術開発の必要性もまだ十分認識されていない。

初期の頃のIAEAやOECD/NEAの会議をぬき近年世界の廃棄物界をリードしているのは実際面ではツーソン会議と高レベル廃棄物ラスベガス会議、基礎面では材料研究学会(MRS)のボストン会議であり、これらを隔年(または3年ごと)のスペクトラム会議(除染、デ

ゴミから有害廃棄物まで)、ASME企画の合同国際廃棄物会議(放射性廃棄物管理と環境回復)が追っている。ボストン会議を別として、いずれも1000人ほどの参加者を集め、特にツーソン会議は今年2000人強を集め、約35国・機関から約400件の発表があった。かつては低レベル廃棄物と高レベル廃棄物で半々(6:4ないし4:6)の割合であったが、最近では低・高レベルのほかにも混合廃棄物(と環境回復)が加わり3:3:4~5のようになっている。

2. 再燃した放射性核種分離・消滅処理の動き

放射性廃棄物の処理といってもその放射能を人為的に処理し壊すのではなく、濃縮減容したのち放射能が自然に壊変減衰していくのを待つにすぎない。しかし強力な核反応装置を使って原子核を核変換させ半減期のより短い核種や安定核種にかえることが以前から検討されてきた。

それが1970年代末に米国とヨーロッパで行なわれた評価により、実用化されるとき効果は期待できるが、それに伴う被ばくリスクと研究経費を考えると正当化され得ないとして、いずれも打ち切られた。わが国の原研の研究もその頃終了させられることになった。

1988年 原子力委員会の放射性廃棄物対策専門部会において高レベル廃棄物対策の一環としてこの問題がにわかに取り上げられ、核種分離・消滅処理技術研究開発推進委員会(委員長山本寛氏)のまとめた案が研究開発長期計画として採択され、原子力委員会により認められた。この技術は高レベル廃棄物の最終処分の負担の軽減化と資源の有効利用を図るものであり、積極的な安全性の向上にも資することになるとして、新しい可能性をめざす先導的研究開発プロジェクトの一つに位置づけられた。

1989年 政府はOECD/NEAへ核種分離・消滅処理等に関する科学技術情報交換の国際協力計画(通称オメガ計画)を提案し、その決定を経て当面5年間の本計画がはじめられた。そこでは長期的基礎研究課題として将来世代の利益を追求するため

1. 核燃料サイクルにおいて創られる核種の物理的・化学的特性
2. 核種分離技術
3. 消滅処理技術

について情報交換を行なうとされている。年1回ほど開くとされた専門家会合の第1回は90年に水戸・東海で、また第2回は米国アルゴンヌで開かれた。

核種分離について、原研では従来の研究に続きDiisodecyl Phosphoric Acid, Diethyl Triamine Pentaacetic Acid等の溶媒を使い特定の元素群への分離研究を進めている。フローシートの確立、ホットミニ試験を終え、パイロット試験が計画されている。ただ動燃の東海再処理施設や日本原燃関係の施設を使う総合工学試験ないし実用化試験についてはまだ考えられていない。また電中研では米国アルゴンヌ研と協力してIFR高速炉の金属燃料の溶融塩電解再処理の研究を進めており、その一環として検討が行なわれている。

消滅処理については、原研・動燃を中心として炉物理・燃料物性データの収集整備がはかられると共に、TRU核種混合燃料を用いる大型FBRの炉心概念の明確化、TRU合金を主成分とする燃料を用いる専焼FBRおよびTRU窒化物粒子燃料を用いるヘリウムガス冷却専焼炉の概念設計、TRU核種を陽子加速器により核破砕して中性子を発生させTRUの未臨界炉心とハイブリッドさせたシステムに関する設計および炉物理実験等が進められている。2000年までの中間に行なわれるチェック&レビュー後の第Ⅱ期には専焼実験炉の予備設計、10mA、1.5GeV級の陽子加速器の建設とそれによる工学試験等が予定されているが、まだそこに到っていない、3000億円以上と囁かれた予算はその1%も使われていない。なお電子加速器によりガンマ線を発生させCs-137, Sr-90等を消滅処理する研究も行なわれており、第Ⅱ期には100mA、100MeV級の加速器の建設および工学試験が予定されている。

OECD/NEAに僅か遅れてEC委員会（CEC）はマイナーアクチニド（MA）の分離・核変換に関するワークショップ^と1989年カールスルーエで開き、92年にはその第2回を開いた。IABAは、1980年の米国（ORNL）とCECの報告に続き「アクチニド分離後の核変換と処分の環境評価・ハザード評価に関する協同研究計画最終報告」を1982年に出して活動を止めていたが、91年になって高レベル廃棄物の核種分離・消滅処理に関する諮問グループ会合を開いた。この会合には関係するNEA, CEC諸国のほかロシア、インド、中国、韓国等も参加し、関心の広がりを伺わせた。

フランスは以前からPuリサイクル高速炉計画を推進しているが、1991年末には新たに廃棄物管理法を制定して 長寿命核種の分離・消滅処理の技術開発、深地下貯蔵・処分研究のための地下研究施設の建設、廃棄物の処理包装・長期貯蔵の技術開発 に関する今後15~20年の基本政策を定めた。この下で地層処分のため廃棄物を減容し放射能を低減させるSPIN（分離・燃焼）計画が進められている。

また旧ソ連でもこれらとは離れて早くからフローピンRa研究所、理論実験物理学研究所等を中心に核種分離・消滅処理の研究が行なわれてきた。Dicyclohexane-18-crown-6, Dibenzo 20-21-crown-7等のクラウンエーテル、Coカルボライド等を使う溶媒抽出プロセスが研究され、チェコスロバキア原研と協力してホットラボ試験が行なわれ良い結果を得た。ついでマヤク施設でパイロット試験も行なわれた。高速炉による消滅処理の研究のほか重水炉、トリウム溶融塩炉に関する研究も行なわれている。

米国では新型液体金属（冷却高速）炉（ALMR）により消滅処理をはかる政府計画があり、アルゴンヌ研のIFR計画が有名であるが、ほかにもロスアラモス研の陽子加速器利用のATW計画等もある。しかし廃棄物専門家の多くは新型発電炉としてはともかく、消滅処理によるメリットは小さく、その開発を正当化するものではないとしている。1982年のIABAの評価報告で使われた条件に変化はあっても、結論は大きくは変わっていないようである。わが国の専門部会および推進委員会においてリスク評価が行なわれたか否かは定かでない。

3. ロシアの廃棄物情勢とわが国の支援可能性

旧ソ連は米国につぐ原子力大国であったが、現在多くの難問をかかえ西側諸国の支援に大きく頼っている状態である。しかし原子力における基本的な考え方や開発の進め方が西側諸国と格別に異なる訳ではなく、廃棄物管理の科学技術面、制度面で学ぶべき点も多い。

低レベル廃棄物では、1957年以来地域ごとに集中処理処分施設をつくり地域管理の体制を整えてきた点が注目される。中レベル廃液をサイトによって深地下の滞水層に圧入処分している情報も、米国と比較検討する価値がある。特に1972, 3年に実施された高レベル廃液の注入データは貴重である。

チェリアビンスク再処理工場の1957年の高レベル廃液タンクの化学爆発事故（80m, 2M Ciを放出）に類似した事故を93年にトムスク工場で起こしたが（Pu抽出後の中レベル廃液35 m, 40Ciを放出）、今回は直ちにIAEAに報告され、その調査団も受け入れており、ロシア側の対応は格段に改善されていた。

チェルノブイリ、マヤク地区等の汚染地の浄化再生と被害者の保護については、チェルノブイリ・放射線事故被害者保護・被災地再生国家委員会が中心となって調査と対策立案が進められており、その報告に基づいて1993年1月には政府予算が初めてマヤク地区再生に支出されることになった。米国のファーナルド、ハンフォード地区の環境浄化回復の契約とほとんど時期を同じくしている。

旧ソ連海軍による北極海・極東方面における不法な海洋投棄（高レベル廃棄物、容器無封入、50°N以北、4000m以浅等）には弁護の余地もないが、ただ北欧方面と比べ極東方面では燃料入り原子炉がなく、放射エネルギーが少なく、投棄深度が深いという違いがある。

わが国としてオメガ計画の消滅処理、高速炉技術を活用した核弾頭解体からのPu、濃縮ウランの貯蔵と原子炉（加速器）照射燃焼計画への協力のほかに、極東地域での放射性廃棄物の貯蔵・処分施設ないし老朽原潜の解体処理施設の建設への協力等が考えられよう。

RECENT TOPICS ON RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT

Takehiko ISHIHARA, Japana Atomic Industrial Forum, Inc.

The field of radioactive waste management is progressively expanding with hazardous/mixed waste management and environmental recovery, and related old and new conferences are attracting more presentations and attendants than original nuclear society meetings. Partitioning and transmutation of long-lived nuclides is one of recent academic topics, and management of recovered fissile materials and radioactive wastes in Russia is another interesting topics even to radiochemists.

((財) 原子力データセンター) 更田豊治郎

〔はじめに〕

核データの測定、収集、評価、編集、普及といった活動を核データ活動と言っている。核データ活動を系統的、集中的あるいは大々的に行う動機は、原子力の平和利用、先ずとりわけ大量のエネルギー源としての原子力の研究開発、より直接的には動力炉の開発であった。この目的のために核データが一段階を画したと言える程度に整った時期は大まかに1980年代と見ることができ、動力炉開発に拍車がかかるべき時期に、不幸にして1986年4月26日にソ連チェルノブイリ原子力発電所の重大事故が発生し、原子力開発は世界的に極めて厳しい逆風にさらされることとなり、各国の原子力研究開発努力にもブレーキがかかり、核データ活動も影響をうける情勢になっている。

地球規模の長期的なエネルギー需給と環境保全のために、現在科学的に予測できる将来において、原子力が最良の大量エネルギー源であることは我々には明解であり、そのために原子力研究開発を一層推進しなければならない。現在の我が国の原子力発電は成熟した技術レベルにあるが、将来発展途上国も含めて「世界全体の動力炉の数」と「各炉の稼働年数」の積分値が増大しても、全体としての原子力の安全レベルを現在の日本のレベルよりも良くするためには勿論のこと、少なくとも悪くならないようにするためには、個々の原子炉の安全性を一層高めることを含めて、より高性能の動力炉を開発し続けなければならないのは自明のことである。

上記に核データの整備* が一段階を画したと述べたが、より高性能の動力炉の開発をはじめ、原子力研究開発を一層進展させるためには、その基礎基盤となる核データ活動の堅固な継続が必要である。(*この場合の「整備」には英語の良い直訳がないように思われる。要は核データが良い品質で「そろい、ととのっていること」を意味する。) 判りやすさのために動力炉を引き合いに出したが、核データは原子力の基礎、応用、開発の全般にわたって必要なばかりでなく、放射線、放射能及び原子核の性質がからむより広い学問分野で必要である。原子力全体の投資が伸び悩んでいる時には、研究開発の全予算も圧迫され、重要性は説明できても、元来当面の緊急性を訴える質(たち)のものでない核データ活動などを含めた基礎基盤研究部門がしわ寄せされがちである。膨大な基礎データを対象とする核データ活動は長期にわたる首尾一貫した継続性が肝要であつて、そのレベルが落ち過ぎると取り戻すのが大変である。核データ活動のアピールには、やはり主エネルギー源としての原子力のアピールが鍵である。

〔利用できる核データ〕

手近の資料では間に合わない核データが必要な場合には、先ず日本原子力研究所（原研）の核データセンターに問い合わせることをお薦めする。問い合わせた結果が満足でない場合も起こりうるが、そういった時の核データ利用者と提供者との間の反応も核データ活動で大切なところである。つまり、その時の反応が核データ活動の改善努力につながるものであることが望まれる。この討論会の専門家諸氏にも当てはまることかと思うが、核データ利用者の熱意が核データ生産者の意欲を高めることになると共に、時として利用者が良い生産者ともなるという関係がある。利用者と生産者との対話や交流がなければ、両者それぞれの問題点や要請が明確化しない。これまでの世界的な核データの整備には、原子力利用という目的意識を持った核データ活動が大きな力になっていると共に、必ずしも応用の目的意識とは関係なく研究者の興味による測定などの幅広い研究活動による蓄積が役立っていることも忘れてはならない。

原研核データセンターで利用できる核データについてのデータベースの主なものを Table 1 に示す。原研核データセンターの活動は、日本原子力学会シグマ特別専門委員会と原研シグマ研究委員会（両者を合わせて通称「シグマ委員会」）の幅広い国内活動によって支えられていると共に、OECD/NEA Data Bank, IAEA Nuclear Data Section, National Nuclear Data Center (BNL, USA), and Nuclear Data Center (Obninsk, Ex-USSR) の4国際センターのネットワーク活動によっても支えられている。当日は、核データ活動の世界的な衰退傾向に対する危機感からの、OECD/NEA（植松邦彦事務局長）の努力など、国際状況についても触れる。

〔新たな核データの必要性〕

既存の原子炉における改良、新型炉開発、核燃料サイクル、核変換による長寿命放射性廃棄物の消滅処理、医学における応用、核融合開発など色々な分野で新たな核データが必要とされることについても論じたい。

THE STATUS QUO OF THE NUCLEAR DATA

Toyojiro FUKETA (Nuclear Energy Data Center)

Significance of the nuclear data activity, namely the activity on measurement, collection, evaluation, compilation and dissemination of nuclear data, is discussed. Availability of nuclear data is presented, and in relation to this, the world status quo of nuclear data activities is touched. Requirements for new nuclear data in various fields of specialty are also discussed.

Table 1. Databases available at the Nuclear Data Center, Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)
(from a JAERI's pamphlet (December 1991))

| Database Name | Description | Applications |
|--|--|---|
| JENDL (Japanese Evaluated Nuclear Data Library) | Evaluated neutron nuclear data including neutron induced reaction cross sections and secondary neutron distribution data in the energy range from 10^{-5} eV to 20MeV. (1) JENDL-1 (released in 1977) 72 nuclides, about 110,000 records (2) JENDL-2 (released in 1982) 181 nuclides, about 330,000 records (3) JENDL-3 (released in 1989) 324 nuclides, about 980,000 records | <ul style="list-style-type: none"> • Design of thermal and fast reactors, and calculations for reactor characteristics and neutron shielding. • Radiation damage • Nuclear fuel cycle • Comparison with experimental data measured at universities and laboratories • Nuclear fusion |
| JNDC FP Decay Data Library | Fission products (FP) decay data Version 1 (released in 1980) 1172 nuclides, about 8,500 records Version 2 (released in 1990) 1227 nuclides, about 9,500 records | <ul style="list-style-type: none"> • Decay heat calculation of fission products • Calculation of reactor safety |
| ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File) | Evaluated nuclear structure and decay data including data of nuclear excitation levels, decay, reactions and references consists of 880,000 records. The Nuclear Structure Reference File (NSRF) contains information of papers on nuclear structure data. | <ul style="list-style-type: none"> • Determination of nuclear excitation levels for JENDL evaluation • Medical field • Decay heat |
| NESTOR 2 (Neutron Data Storage and Retrieval System) | Experimental data of neutron induced reactions including about 2,900,000 data points. | <ul style="list-style-type: none"> • Basic data for JENDL evaluation • Validation of theoretical calculations |

2S01

Rapid Radiochemical Separations and the Extension
of the Chemist's Periodic Table

Günter Herrmann

Institut für Kernchemie
Johannes Gutenberg-Universität
Mainz, D-55099 Germany

Rapid radiochemical procedures on a time scale of a few seconds are one of the approaches to isolate short-lived nuclides from complex mixtures and are the only way to investigate chemical properties of the heaviest chemical elements. Such procedures can be performed in two operation modes:

- the discontinuous, batch-wise mode in which a nuclide is sequentially produced, chemically separated, and measured, including its transport from the production place to the chemical processing set-up and from there to the detector system.
- the continuous, on-line mode in which the target is permanently irradiated and extraction from the target, transport, chemical separation, and counting are continuously performed delivering a steady source of short-lived activities to the detector system.

Discontinuous procedures are often easier to accomplish since a broader spectrum of chemical steps can be used. They are appropriate for following the decay of nuclides for some time in order to unravel mixtures of several isotopes. Their main disadvantage is the short effective counting time. This can be overcome by frequent repetition of the whole sequence in a fully automated, quasi-continuous operation. True continuous operation puts more restraints on the chemistry and also the transport and counting techniques. Gas-jet systems are now well established for on-line transport from the hot target area to set-ups located in a normal environment. Continuous counting is easily accomplished for penetrating radiations such as γ -rays but is a severe problem in spectroscopic detection of α -ray emitters and spontaneous fission activities where thin counting samples are normally required.

Rapid radiochemical separation procedures have originally been developed at Mainz for the investigation of neutron-rich nuclides far off stability which can be reached only by nuclear fission. Highly specific chemical separations of individual elements from this complex multielement mixture are used for the

identification of new nuclides and the study of their nuclear properties, as will be illustrated by some examples. Motivations are, among others: systematics and mechanism of β^- -delayed neutron emission as an unusual decay mode which has also implications in reactor technology; nuclear shapes in the transition region between spherical and permanently deformed nuclei where soft, triaxial shapes occur; exploration of key nuclei in the natural nucleosynthesis of heavy elements by rapid neutron capture in stars.

When the heavy ion accelerator UNILAC at GSI Darmstadt provided researchers with all kinds of projectile beams the search for superheavy elements around atomic number 114 became a mayor effort of the Mainz and Darmstadt nuclear chemistry groups. Since the UNILAC delivered, for the first time, uranium beams, the uranium-on-uranium reaction was taken up at first after it had been shown that transfer reactions producing nuclei far beyond uranium occur. However, the search for superheavy nuclei remained unsuccessful. Obviously, the products are formed with too much excitation energy for escape from fission. The second example to be presented concerns the fusion reaction of curium-248 with calcium-48 considered to be the most promising access to the "island of stability". The search experiments carried out with a variety of methods by a German-American-Swiss collaboration remained unsuccessful, too, at production rates of less than 1 to 10 atoms per day. It is our present understanding that not a lack of nuclear stability but rather a strong hindrance of nuclear fusion at the Coulomb barrier prevents the synthesis of superheavy elements.

In recent years the emphasis in using rapid chemical procedures has shifted to studies of the chemistry of the first transactinide elements 104 and 105, hahnium. These studies are motivated by the question how far relativistic effects manifest themselves at the end of the periodic table. Such effects are the contraction of the radius and energetic stabilization of s- and $p_{1/2}$ -shells and, vice versa, increased radii and energetic destabilization of the outer d- and f-orbitals. Increasing deviations from the periodicity of chemical properties within the groups of the periodic table may therefore be expected, such as unusual ground-state electron configurations, oxidation states, ionic radii, and molecular structures.

Here, computer-controlled automated systems are to be used not only because of the short half-lives of the tracer nuclei 65-s $^{261}104$, 34-s $^{262}105$ and 27-s $^{263}105$ produced by heavy-ion reactions, but also because of production rates at a "one-atom-at-a-time" level. Hence, hundreds and sometimes thousands of separations are required to obtain statistically significant results. Large collaborations of groups from Germany, Norway, Russia, Sweden, Switzerland and USA are pushing the development and application of such techniques mainly in the following directions: (i) column chromatography of aqueous solutions by ion exchange and solvent extraction using the ARCA apparatus; (ii) isothermal gas chromatography of volatile species with OLGA and HEVI; and (iii) solvent extraction from aqueous solutions with the SISAK centrifuge system. Deviations of chemical behaviour from expectations based on simple extrapolations are indeed observed. For example, in aqueous solution element 104 behaves more like the actinide ions plutonium(IV) and thorium(IV), rather than zirconium(IV) and hafnium(IV), and element 105 shows non-tantalum-like properties

and similarity to protactinium(V) and niobium(V). In the latter example, quantum-mechanical calculations indicate that the similarity of hahnium to protactinium and niobium is due to the formation of the same oxygen-containing molecular structures not shared by tantalum.

Extension of chemical studies to element 106 is a particular challenge in view of the short half-life, 0.9-sec, of its longest-lived isotope 263, but current work in the collaborating laboratories indicates that it may be solvable. Furthermore, there is some evidence that isotopes with half-lives of some seconds exist. For the still heavier elements 107, nielsbohrium, 108, hassium, and 109, meitnerium, the half-lives decrease to the millisecond range and the production rates to a level of one atom per week. Hence, unless novel approaches such as strong neutron-rich radioactive beams now under discussion give access to longer-lived isotopes, the chemist's periodic table based on chemical evidence may not extend quite as far as the list of elements identified by nuclear chemists.

—MEMO—

—MEMO—