

理化学研究所 ニュース

June—1969

No. 9

理化学研究所における

ウラン濃縮に関する研究

当所のウラン濃縮のニュースが、最近のマスコミを賑わしたことは皆さんご承知のことと思います。濃縮ウラン(核燃料)の国産へ、独自の基礎実験に成功、という見出しのもとに、朝日新聞は3月31日付朝刊の第1面を殆んど費して、当所がウラン濃縮に利用する隔膜の試作に成功したことを報じました。その他多くの報道機関もこれを報じましたが、科学技術関係の記事がこのような派手な扱いを受けたのは前代未聞かも知れません。10年、20年先には原子力発電の燃料である濃縮ウランがわが国のエネルギー資源の大きな部分を占めるであろうこと、その濃縮ウランを獲得する方法は今のところアメリカからの輸入より他に手段がないことなどの理由で、ウラン濃縮に対する関心が最近俄かに高まってきました。ちょうどその時、濃縮ウランを製造するために最も必要であり、しかも米・英・ソ・仏などでは嚴重に秘密にされている隔膜を、当所の同位元素研究室(主任研究員 中根良平)が住友電工と共同して開発した成果を原子力学会で発表したわけですが、このタイミングの良さがマスコミの興味を大いに引いたというのが今日のさわぎの原因でしょう。

実際には、ウラン濃縮の研究のほんの第1歩を踏み出したに過ぎないというのが本当ですが、当

所がウラン濃縮の研究でわが国で最初の成果を得たのは、歴史的にみればある意味では当然といえます。わが国におけるウラン濃縮の研究の歴史は理化学研究所におけるウラン濃縮の歴史であるといえるからです。

一理化学研究所のウラン濃縮の研究の歴史一

ウランの同位体U-235に熱中性子が当たると、ウランの原子核は真二つに分裂するというドイツのハーンらが昭和13年に発見しました。この核分裂のとき二、三個の中性子和共に巨大なエネルギーが放出されます。いわゆる原子力の発見です。当時当所の仁科研究室でもウランに中性子を当てる研究が熱心に行なわれました。そしてこのエネルギー放出の徴候をすでに見出していましたが、残念ながらそれが核分裂の結果であるとは思わずにいたったのです。もしウランが核分裂することを知っていたらハーンより早く考えたなら当然ノーベル賞が与えられたでしょう。

ところで、U-235を、共存するウランの他の同位体U-238から分離して濃縮ウランを製造すればU-235が核分裂した時に放出するエネルギーを巨大なエネルギー源として利用し得るとことは当時の核物理学者は誰も考えました。不幸なことにハーンの見解は第2次大戦のぼっ発と同時に

であったため、アメリカはこれを原子爆弾にしてしまったわけです。日本でも陸軍が原子爆弾の開発を考えました。その依頼を受けて仁科研究室では熱拡散という方法でウラン濃縮の研究を行なったのですが、濃縮どころではない段階のうちに終戦を迎えてしまったというわけです。

終戦後は当然ウラン濃縮の研究などはできません。そのため仁科博士はウランでなく、窒素の同位体の濃縮を考えたのです。当時の日本が直面した最も重要な問題であった食糧問題の解決のための基礎研究の一手段として重い窒素の濃縮が始められました。そして濃縮された重窒素は肥料などに加えられ、それがどのような径路で植物に吸収されるかが追跡されました。当初はこの重窒素を今でも各界に供給しており、最近その利用は益々盛んになっています。この重窒素のほかに、さらに、仁科研究室の一部が独立してできた同位元素研究室によってホウ素の同位体の濃縮の研究が行なわれました。このように重水素以外の多くの同位体を完全に分離した技術と実績を持っているのは、わが国では当所だけといえます。これら軽い同位体を濃縮するために開発した技術が今回発表されたウラン濃縮の研究に大いに役立ちました。

ウラン濃縮法としてアメリカなどで採用されたのは膜拡散法です。ところが昭和31年、ドイツで遠心分離法が開発されました。これに刺激されて遠心分離法の研究が化学工学研究室（当時主任研究員 大山義年）で始められました。再びわが国のウラン濃縮の研究が、それもまた当所において始められたわけです。この研究は二、三年の間、当所において基礎実験が行なわれた後、原子燃料公社に引継がれました。現在、動力炉・核燃料開発事業団で行なわれている遠心分離法によるウラン濃縮の開発研究がこれです。この研究ではU-235の濃縮試験は一度も行なわれていませんが、アルゴン同位体の濃縮という予備試験は何回も繰返され、この試験によるアルゴン同位体の濃縮度を質量分析計を用いて測定したのはやはり当所同位元素研究室です。

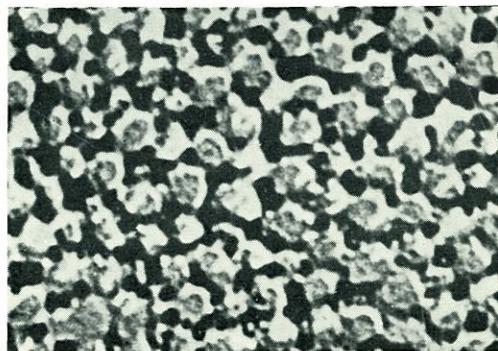
遠心分離法の研究がまだ当所で行なわれていた当時、無機化学研究室（当時主任研究員 千谷利三）、同位元素研究室などでは分子蒸留によるウ

ラン濃縮の研究が行なわれました。この方法を工業的ウラン濃縮法にまで発展させることは無理のようですが、少しばかりではあるがU-235をわが国で始めて濃縮することに成功した研究という意味で記憶されるべきでしょう。

—理化学研究所の膜拡散法の研究—

このような研究が行なわれていた当時は、ウラン濃縮の問題は必ずしも多くの人の注目を引くものではありませんでした。しかし前述のとおり、最近になって近い将来濃縮ウランが原子力発電の燃料として使われることが確かになり、そのため識者の間でわが国においてもウラン濃縮の研究を本格的にやるべきかどうかということが真剣に論じられ始めました。アメリカなどでは実用化されている膜拡散法もわが国では基礎研究すら殆んど行なわれていない状態でした。膜拡散法でウラン濃縮を行なうためには隔膜とコンプレッサーをまず開発しなければなりません。しかし、どのような隔膜が使われているか日本人は誰も知りません。アメリカなどは嚴重に秘密にしています。

このような背景で、当所は招聘研究員 菊池正士博士を中心に検討し、わが国で実際にウラン濃縮を行なうべきかどうかは別にして、役に立つ技術だけでもわが国で確立しておきたい。そのためにはまずウラン濃縮に利用できる隔膜の試作を試みようということにしたのです。そして同位元素研究室が蓄積していた同位体分離と質量分析の技術と、住友電工の数十年の経験に裏打された焼結の技術を組合せて、隔膜の試作研究が昭和42年から始められました。そして2年を経過してこのたび、U-235を濃縮することができるアルミナ焼結膜の製造に成功したというわけです。



同位体を分離する隔膜の一種(アルマイト)の表面の電子顕微鏡写真(5万倍)。黒く見える穴を通して原子が拡散してゆく。

放射化分析の研究とその応用

注意深く精製をくり返した物質のある性質は、ごく微量の残存不純物によって決定されることがあります。最近のエレクトロニクスの発展の原動力となった半導体ゲルマニウム・ケイ素などはその代表例です。このような場合には、学術、産業の両面から、どんな種類の不純物がどれだけ存在しているかを確実に知るための分析手段が、まず要求されます。放射化分析は、すべての分析手段のうちでも一般に最高感度を持ち、その他の理由も加わって微量成分の定量に最適であり、高純度物質の研究分野でおおいに威力を発揮しています。

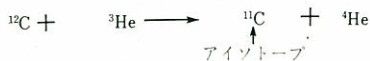
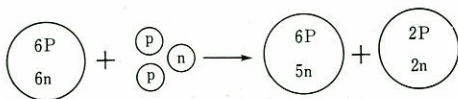
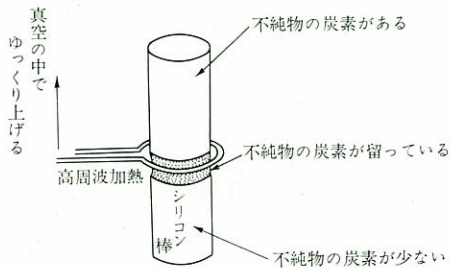
放射化分析というのは、原子炉中の中性子やサイクロトロンで加速した荷電粒子を試料に照射し、目的の元素に核反応を起こさせてこれを放射性同位体—ラジオアイソトープ—とし、その放出する放射線を測定することによって、この元素を定量する方法です。この放射化分析を初めておこなったのは Hevesy と Levi で、1936 年にイットリウム酸化物中のジスプロシウムおよびガドリニウム中のユーロビウムを定量したのがはじまりです。1942年に嵯峨根博士らが発表した、当時の理化学研究所のサイクロトロンを用いて行なった、アルミニウム中のナトリウムの定量も極めて優れた業績とされています。最近では、放射線測定技術の進歩により、一つの試料中の多種の元素を同時に、迅速に、非破壊的に定量できるようになってきています。そのため、地球化学や生物化学の試料のような複雑な組成の物質の分析に好都合な

手段ともなりました。また、放射化分析は自動遠隔機器分析法として用いるのに適しており、宇宙無人ロケットに小型化した照射線源と放射線測定器を積込んで、天体の表面を分析しようという計画も進められています。

現在の当所のサイクロトロンは、放射化分析には好都合の性能を有しており、核分析化学研究室(主任研究員 斎藤信房)において、これを用いて、半導体ケイ素中の極微量の炭素、窒素、酸素の信頼できる定量法を開発し(野崎正副主任研究員)、これを用いて種々の履歴の試料を分析しています。この3種の元素は、天然に多量に存在しており、多くの高純度物質中の主要な不純物であるにもかかわらず、そのごく微量(10⁻⁶以下)にたいしては、他に信頼できる定量法はないといってもよいでしょう。

試料をサイクロトロンで加速した³Heで照射すると、試料中の不純物炭素は下図のようにC-11になり、また酸素はF-18になります。陽子で照射すれば窒素がC-11になります。C-11とF-18は各々炭素とフッ素の放射性同位体であり、普通の炭素やフッ素と化学的振舞いが同じであることを利用して、これを化学分離した後、その放射能を測定するわけです。分析結果例を表に示しますが、これは学問的にも工業的にも極めて興味ある新知見を含んでいます。

放射化分析は今後益々広く応用されていくものと思います。



極微量の不純物の分析

高純度ケイ素中の炭素、窒素、酸素分析結果

不純物元素		炭素	窒素	酸素
不純物濃度 (単位は10億分の1)	範囲	20~2,000	<20	5~10,000
	最多出現値	100付近	1~5	100~500
帯融解のときの振舞い	偏析	明瞭に尾部へ	顕著に尾部へ	わずか
	雰囲気との相互作用	わずかに逃げ去る	はなはだ顕著に逃げ去る	逃げ去るときと入り込むときがある

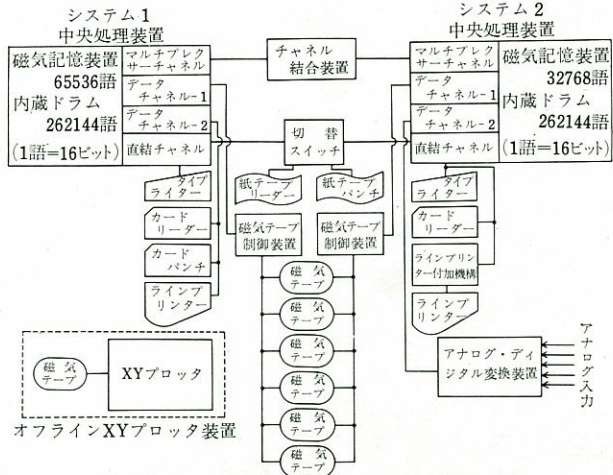
電子計算機室紹介

科学技術の発展にともない、多くの研究分野において、膨大な計算を必要とするようになってきました。このような情勢に対処して、当所では昭和37年に計算機の導入計画を建て、昭和39年5月には当時の国産機のうちでは最新鋭であった OKITAC-5090H, M システムを導入することができ、所内の計算需要に応じてきました。以来5年経過した本年3月、大和研究所への移転に際し、FACOM 270-30 2台のシステムに更新し、現在、急速に増大して来た所内の各種の計算の処理にあっています。

このシステムは図に示した通りの構成をもつもので、通例の科学計算はシステム1で処理し、特殊な仕事、例えば特に長時間を要する計算、磁気テープを多用する仕事、実験データを直接読みこんで処理した後実験室側にフィードバックするといった仕事、計算機の新しい応用面の開発などは、システム2で行なうという考えに基づいています。両システムとも、入力側では既存の媒体（紙テープ、パンチカード、磁気テープなど）からの読みこみはすべて可能にしてあり、出力側では高速印刷の外に、オフラインのXYプロッターによって磁気テープからグラフなどの図形を書くこともでき、さらに切替スイッチにより一部の入出力装置の切替を行えるなど、柔軟な適応性をもつように考慮を払っています。また、両システムはチャンネル結合装置で結ばれており、両システム間では高速で情報の授受を行なうこ

ともできます。(下図参照)

このようなシステムの性能を高い効率で活用するためには、高度のプログラムが必要ですが、現在はまだ十分にでなく、その整備はこれからの一つの大きな課題と考えています。計算機の性能の急速な進歩とともに、その応用分野はますます拡がり、ほとんど無限といってよい可能性を含んでいます。実際、計算機は科学の研究の方法に大きい影響を与えるだけでなく、新たな研究分野を次



理化学研究所電子計算機システム

とも開きつつありますが、意欲的に斬新なその使い途を開発して行くこともまた、当所の関係研究者に課せられた大きい問題であり、その方向にも努力しています。

禍転じて福となる

—ウラン濃縮研究余話—

「ウラン濃縮の研究をやれ」と先生から云われて早や二年になるが、当初次々と試作されてくる隔膜の、確実にしかも速く良否を決められる試験機を早急に考え出さねばならなかった。

二十年も昔の事になるが、ある年の夏突然肺しんじゅんなる病名をいただき、気胸療法とかのお世話になった。原理は良く知らないが、液の入ったピンから空のピンへ、落差を利用して液を導きながら、圧縮された空気を胸膜間に針をさして送り込むといったものではないかと記憶している。

そのおかげか今では健康体になったが、一生のうちで一番いやな思い出であろうと時偶思い出すこともある。もし、適当なタンク中に真空油を入れ、落差を利用し

て空タンク中に油を導けば、たとえ拡散膜を通してガスを抜いていっても、圧力を一定に保ちつつ容積をへらして行ける。この空タンク中に Ar ガスを入れておけば、当然 Ar⁴⁰ が濃縮されてくるし、この濃縮法を解析すれば隔膜の分離効率を求めることができるであろう。

こんなヒントで研究室にあるガラクタを集め、無我夢中で一週間余りで装置を組んでみた。実験の結果はベテランのMS技師にゆだねたところ、良好な成績が得られた。

今では大部改良もしたが、この方法を定圧減容レーリー法と名づけ、すでに実験回数も千回程になった。そして学会でも名前が通用するようになってきた。

今回のウラン濃縮実験の成功には、この装置の効力がいかに発揮された。こんな意も知らず、今日も若い学生さんがこの装置と取組んでいる。(磯村昌平 同位元素研究室研究員)