

展望

新しいX線分析法

河合 潤
Jun Kawai京都大学 大学院工学研究科
材料工学教室 助教授

Novel Analysis Methods Using X-Rays

1 はじめに

分析化学は系統だった学問ではない。「ふえらむ」の大部分の読者、すなわち分析化学の非専門家から見たとき、分析化学は、熱力学から分光学・量子力学まで、あるいは、エレクトロニクスから抗原・抗体反応まで、目的のためなら何でも使えるものは使おうという、およそ原理原則を持たない分野、言い換えれば、「学」とは呼べない分野であるという印象を受けることであろう。機器分析装置を一通り使いこなすためには、沈黙操作よりはむしろオシロスコープを使えるほうがなんとなく役に立つように見えるのもそのためである。メーカーの分析機器のカタログデータを記憶するのが分析化学であるかのように感ずることさえある。このような分析化学の受け取られ方を示す一例として、池田が「鉄と鋼」誌に書いた文章を引用すると：「ある鉄鋼に関係のある会社のえらい人が、『今時分析の研究会等はいもう必要ないのではないか。鉄鋼の分析には研究しなければならないほどの問題は残っていない。機器分析でボタンをおせば結果はすぐ出てくる時代になった。』といったような意味のことを言」ったそうである¹⁾。これは、分析化学が鉄鋼業界からどのように受け取られているかを端的に示すものである。およそ原理原則を持たない分野、「学」とは呼べない分野に見えるのは、しかしながら、分析化学がこれまで、そして現在も急速に発展中の分野だからである。

本稿では、現在も分析化学が急速に発展中であることを示す一例として、最近5年ほどの間に京大の筆者らの研究室で開発した、EXEFS法、XFH法、TRXPS法、微粒子の深さ方向状態分析法、X線共鳴ラマン散乱法、帯電によるX線発生法、という6つのX線分析法について述べたい。筆者らのような無機・金属工業分析を指向する小さなグループでも、また、X線という古く限られた狭い分野でも、従来は原理的にも存在しなかったまったく新しい分析方法

を数多く提案することができた。筆者らの新しい分析法の提案に対して学会の反応は鈍かったが、産業界の反応は素早かった。提案したうちのいくつかの分析法はすでに実用化されつつある。このような新しい分析手法が次々に生み出されているという傾向は筆者らの例に限らず、他の多くの分析研究グループにも共通して見られることである。分析の研究は必要ないと言っているとすぐに時代にとりのこされてゆくのではないであろうか。

2 発光X線拡張微細構造 (EXEFS)法

X線の吸収係数をX線のエネルギーに対してプロットしたものを、X線吸収スペクトルと呼ぶ。X線吸収分光法²⁾は伝導帯・非占有軌道の電子状態を研究する手段として、また非周期物質の配位構造を調べる方法として、シンクロトン放射光施設の充実につれて1980年代後半から盛んに使われるようになった。最近ではエアロゾルなどの環境物質³⁾や電池電極表面の化学状態分析にも向いている事がわかってきた。

筆者らは特性X線スペクトルの長波長側にX線吸収スペクトルと類似のスペクトル微細構造を発見した⁴⁻¹⁸⁾。特性X線は発光過程であり吸収スペクトルが現れるとは考えにくい、この微細構造をX線吸収スペクトルの解析と同様な手法でフーリエ変換すると、近接原子間距離を求める事ができる。この微細構造は、電子の多体効果によって現れるもので、微弱であり量子力学的な扱いが必要である¹⁹⁻²¹⁾。この方法を、EXEFS (Extended X-ray Emission Fine Structure)法と名づけた。発見から2年で世界のあちこちで使われ始めた。EXEFSと本当の吸収スペクトルとの差異に関する研究も進んだ²²⁾。日本金属学会の「まてりあ」誌に解説原稿を依頼されたが、吸収スペクトルが蛍光

スペクトルに現れるなどということは「荒唐無稽」であるというのが論文査読者意見であった。残念ながら掲載されなかった。なおこの解説は別の雑誌で出版されている⁶⁾。

シリコンウエハーの表面分析では全反射蛍光X線分析が使われているが、 10^9 原子/cm²の検出感度を持つので、微弱的なスペクトル成分でも、微量不純物と混同される。X線検出器にはエスケープピークと呼ばれる装置特有のピークも現れる。エスケープピークは検出器内の物質によるX線吸収が原因である。多体効果や検出器の特性に起因するさまざまな妨害線の研究がEXEFS発見のきっかけであった^{7,23)}。

EXEFS法を用いると、シンクロトロンを用いたX線吸収スペクトルと同様のスペクトルが、 $1\mu\text{m}$ の空間分解能で10分程度の短時間で測定可能である¹⁸⁾。 $1\mu\text{m}$ の測定は最新のシンクロトロン放射光施設でも容易ではない。EXEFSが可能な蛍光X線装置は日本国内に800台、全世界では10000台ある。同様に電子プローブX線マイクロアナライザー(EPMA)は国内に2000台、全世界では3500台ある。本方法に対する南米・ヨーロッパからの問い合わせが多い。オーストラリアでも利用されている。測定結果を公表できないような、企業にとって重要な試料の測定に使われている模様であるが、そういう使われ方にこそ、この方法の存在意義があると思われる。

3 蛍光X線ホログラフィー(XFH)法

単結晶から放出されるX線光電子の強度には、電子の回折現象のために角度依存性が現れる事を東大生研の二瓶らは見出し²⁴⁾、彼らはこの現象を応用して様々な表面構造の解析を行っている²⁵⁾。これがX線光電子回折法である。回折電子波の角度異方性と、素通りした直接電子波とを比較解析すると結晶構造が像として再生できる。これを光電子ホログラフィー法と呼ぶ。光電子回折とX線吸収分光とは、見かけ上、電子を測定するかX線を測定するかという違いがあるが、物理的には、電子の前方散乱現象か後方散乱現象のどちらを利用しているかという違いに帰着できる。ともに固体中での局所的な原子配列に関する物質情報を与えてくれる。合志は光電子のかわりに単結晶から放出される蛍光X線を測定しても、光電子ホログラフィーと同様の物質情報を引き出せるのではないかと提案した²⁶⁾。蛍光X線ホログラフィー(XFH、X-ray Fluorescence Holography)法である。このようなアイデアは世界のあちこちで独立に提案されており、米国のFadleyも実験の可能性を示唆していた²⁷⁾。ホログラフィーの発明で1971年にノーベル賞を受賞したGabor以来の伝統があるハンガリーでは、1996年にあっさりと蛍光X線ホログラフィーを実現した^{28,29)}。筆者

らも二瓶・合志の基礎研究を発展させた形で蛍光X線ホログラフィー実験を実現しようと1993年から科研費申請(材料工学分科)していたが、同じ申請を合計4回、最終的にプロセス工学分科へ申請を変えてようやく採択された。同じ文面の申請を4回も提出したのは筆者らのオリジナリティに自信があったからであるが、普通はあまりしてはいけないことのようなのである。研究費交付後すぐにシンクロトロン放射光を用いた蛍光X線ホログラム測定を行い実験に成功した(1997年12月)³⁰⁾。蛍光X線ホログラフィーは、単結晶にドーブした微量元素が結晶中でどういう位置にあるかを解析するのに役立つ。原子番号が隣接した2元素で、そのうちの一方が極端に濃度が低い場合、X線回折は難しいが、XFHでは(位相情報も含んだ)構造情報を得ることができる。筆者らがSPRING-8で行ったGaAsウエハ中に不純物として含まれる200ppm亜鉛のホログラム像再生³¹⁾が濃度の低い方の世界記録である³²⁾。GaAs中に200ppm含まれる亜鉛のX線回折は通常難しい。

現在までに筆者らのグループで測定した物質は、 SrTiO_3 ³⁰⁾、上述のGaAs³¹⁾、 $\text{Cu}^{33)$ 、Geである。日本国内では、東大物性研の高橋敏男らのグループも測定に成功しているが、1996年のTegzeとFaigelの最初の論文²⁸⁾以来、理論の論文も含めてまだ20報程度の論文が出版されているのみである。

X線蛍光原子からどの程度遠くまでの物質情報を、蛍光X線ホログラムによって得ることができるであろうか？ 蛍光X線ホログラムのパターンはどの程度の角度分解能で測定する必要があるであろうか？ X線回折なら良くわかっていてこのような基本的な事柄も、蛍光X線ホログラフィーでは未だ十分にわかっていない³⁴⁾。

4 全反射X線光電子分光(TRXPS)法

TRXPS(Total Reflection X-ray Photoelectron Spectroscopy)法は、試料表面に対しX線をすれすれに入射させ、全反射X線によって励起された光電子を観測する方法である。従来のX線光電子分光法に比べて、(1)最表面の化学情報を選択的に取得できる、(2)スペクトルのバックグラウンドが低いので、X線光電子分光につきものの数値的なバックグラウンドの引き算が不要となり定量精度が高くなる、(3)光電子の信号強度が2桁以上強い、(4)入射角度の微妙な制御により定在波の深さを変化させられるので、多層薄膜の構造解析に有利である、などの優れた特徴がある。この特徴を生かして、表面超微量状態分析、積層薄膜材料の化学状態分析、島状成長の評価、界面状態の分析などに有効である。国内外をあわせて最初のTRXPS法

に関する総説³⁵⁾があるので詳細はそちらに譲る。この総説³⁵⁾では1999年末までの全反射X線光電子分光法に関するすべての文献を網羅してある。

TRXPS実験は1972年にHenkeによって最初に行われたが³⁶⁾、その後数報の論文が出版されたものの、忘れ去られていた。1990年代になって、米国NISTや日本の筆者らのグループ³⁷⁻⁵⁰⁾、理学電機工業(株)、日本電子(株)等が実験結果を発表し始めた。最近ではドイツのシンクロトロンHASYLABでも実験されている。

全反射条件でのX線は、入射光と反射光が定在波を形成し、表面近傍でのX線電場が強くなる。スペクトルのバックグラウンドは、信号強度に比べて、相対強度で半分以下に低減する。バックグラウンドがTRXPSによって低減することを理論的に予測し³⁷⁾、実験で実証した³⁸⁾のは筆者らが最初である。全反射X線光電子分光法では、20 Å程度までの表面原子のみを測定していると考えて良い。百Å以上深い部分は励起されないの、固体の深い場所で発生した光電子に由来するバックグラウンドはなくなる。TRXPSの欠点としては、すれすれ入射させたX線が表面で広がるので、分析面積が数cmの平らな物体に限られるという点である。具体的には、半導体ウエハのようなものは得意であるが、でこぼこしたものや小さなものは分析対象とはなりにくい。

1998年には日本電子から全反射X線光電子分光装置が市販された。全反射蛍光X線分析にあと2桁まで迫る検出感度(10^{11} 原子/cm²)があり、全反射蛍光X線では不得意な炭素、酸素などの軽元素分析や化学状態分析ができる。ある種のTRXPS装置は米国NISTの特許⁵¹⁾があるので、市販装置の開発には制限が伴うが、筆者らが出版した数値シミュレーションの論文がその特許にも引用されており、すでに核心部分は筆者らが論文発表していたことになる。

5 微粒子の深さ方向状態分析法

通常のX線吸収スペクトルは、シンクロトロン放射光からの連続X線を、結晶やグレーティングモノクロメータで単色化し、試料を透過させ、透過前と透過後のX線強度を、波長を変えながら測定する。表面を測定したい場合や、非常に厚い試料、フライアッシュやエアロゾルなど、X線を透過させ得る薄い均一な試料が用意できない場合には、二次電子、光電子、反射X線、蛍光X線などの量子収量が、吸収係数測定の代替法として用いられている⁵²⁾。

量子収量法を用いれば、薄膜試料以外の吸収スペクトル測定も可能である。図1に示した実験配置では、試料電流と蛍光X線とを同時に検出する。試料電流からは数十Åの

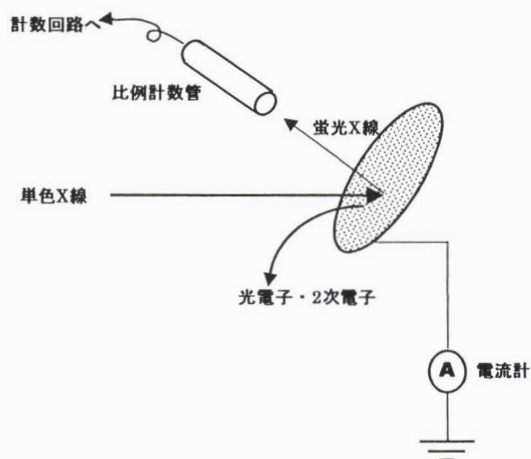


図1 試料電流と蛍光X線とを同時に検出するX線吸収分光法
深さ方向に選択的に物質情報を得ることができる。

表面の物質情報が得られ、蛍光X線強度からは μm 程度のバルクの物質情報が得られる。褐炭を燃やしたフライアッシュ中の硫黄の化学状態の深さ依存性や、エア・サンプラーで粒径別に捕集したエアロゾルに含まれる元素の酸化状態の深さ依存性が測定できる^{3,53-55)}。エアロゾルの硫黄の価数分析では、X線光電子分光法より感度が高く、しかも表面とバルクを選別して測定できることがわかっている⁵⁶⁾。

6 X線共鳴ラマン散乱法

蛍光X線スペクトルを測定する際に、シンクロトロン放射光のエネルギー可変性を用いて励起エネルギーを下げ、吸収端ぎりぎりのエネルギーのX線によって蛍光X線を測定する。この時、内殻軌道から励起された電子は、最低非占有軌道(LUMO)に上がり、すぐに内殻空孔をうめるべく内殻へ遷移してX線を放射する。このような電子遷移によるX線の放出(または散乱と見ることもできる)を、共鳴蛍光とも共鳴ラマン散乱とも呼ぶ⁵⁷⁻⁶⁰⁾。この共鳴線の強度は、LUMOの性質に依存して変化する。たとえば材料の粉末をボールミルで粉砕した試料では、粉砕時間が長くなると、結晶粒径は小さくなり、それにつれて、格子欠陥やダングリングボンドの数密度が増加する。このダングリングボンドはLUMOを形成するので、ダングリングボンド数密度やクラスターサイズを決める事ができる^{61,62)}。結晶やアモルファスの原子空孔の数を測る方法といえる。

7 帯電によるX線発生法

プロトンを数百kVに加速して材料に照射すると、特性X線が発生する。このX線分析法はPIXE法と呼ばれ、高感度な元素分析法として使われている。南アフリカの研究者ら

が、金属フッ化物のPIXE分析をすると、金属の特性X線がけた違いに強く発生することを発見した⁶³⁾。彼らは最初、フッ素とプロトンが核反応を起こすからであると予想したが、その実験結果を聞いた筆者らは、帯電現象が絡んでいるのではないかと予測して追実験をおこなった。フッ化物は絶縁性が高く、帯電が生じやすいからである。実験してみると、確かに帯電が原因であることがわかり^{64,65)}、それなら、プロトンビームがなくても、絶縁体を帯電させるだけでX線が発生するはずであると考えた。同様な発見は筆者らが最初ではなく、(株)東芝の寺澤倫孝は1968年、イオンビームを絶縁体に照射する実験中に、金属に照射したときに比べて1000倍もの強いX線が発生する事を発見した。米国のBrownridgeは1992年に焦電性の結晶(例えば LiNbO_3 などのように温度を上げたり下げたりすると電気を帯びる物質)が帯電したときにX線が発生する事を発見した。筆者らは、帯電した物体を空気中に置いてだけではX線は発生しないが、ある狭い範囲($4\sim 5\times 10^{-2}\text{Torr}$ の間に限る)の真空中に置いたときだけX線が発生する事を突き止めた⁶⁶⁾。焦電結晶を小さなICパッケージに入れたX線発生デバイ

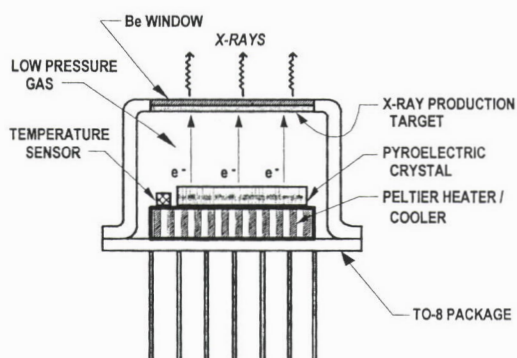


図2 焦電結晶とペルチェ素子を用いたX線発生デバイス (AMPTEK社のカタログから引用)

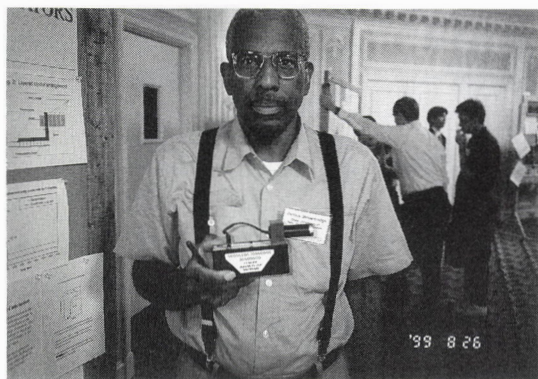


図3 手のひらにのるX線発生装置と、開発したニューヨーク州立大学のBrownridge博士(シカゴで開催された第18回X線と内殻過程国際会議にて1998年8月撮影)

スを製品化した会社もある(図2)。図3はBrownridgeが彼の製作したX線発生装置を持っている写真である。電源は乾電池であり、ペルチェ素子と焦電結晶が入っている。スイッチを入れれば先端からX線が出てくる。帯電によるX線発生の原理の詳細ははまだ明らかではないが、現象論的にはさまざまな実験事実が蓄積されてきている⁶⁷⁾。

8 おわりに

筆者らは1998年7月に西播磨のシンクロトン放射光施設SPring-8の実験課題として、原子番号114近傍の超重元素発見を目的とする課題申請をした。「具体性なし」として不採択となったが(1998年12月25日に収録された誌上新春座談会で超重元素課題申請について述べてある⁶⁸⁾)、共同通信によると1999年1月22日ドブナのロシア合同原子核研究所で寿命30秒の114番元素発見を発表している(寿命などの数値についてはその後修正があった)。現代においても新元素を発見することができるし、それは分析化学の範疇である。本稿を読んでいただいて、分析化学の「荒唐無稽」な発展ぶりに少しでも気づいていただけたら幸いである。

参考文献

- 1) S. Ikeda: Tetsu-to-Hagané, 77 (1991), 1749.
- 2) 桜井健次: ふえらむ, 4 (1999), 294.
- 3) S. Tohno, J. Kawai, S. Chatani, M. Ohta, Y. Kitajima, K. Yamamoto, Y. Kitamura and M. Kasahara: J. Aerosol Sci., 29 (1998), S235.
- 4) 河合 潤: 分光研究, 47, 161 (1998)
- 5) J. Kawai and K. Hayashi: Tetsu-to-Hagané, 85 (1999), 353.
- 6) 河合 潤: ふんせき, (1999), 387.
- 7) J. Kawai, T. Nakajima, T. Inoue, M. Yamaguchi, H. Adachi, K. Maeda and S. Yabuki: Analyst, 119 (1994), 601.
- 8) K. Hayashi, J. Kawai and Y. Awakura: Spectrochim. Acta, B52 (1997), 2169.
- 9) J. Kawai, K. Hayashi and Y. Awakura: J. Phys. Soc. Jpn., 66 (1997), 3337.
- 10) J. Kawai, K. Hayashi and S. Tanuma: Analyst, 123 (1998), 617.
- 11) J. Kawai and K. Hayashi: J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., 92 (1998), 243-245.
- 12) J. Kawai, K. Hayashi, K. Okuda and A. Nisawa: Chem. Lett., (1998), 245.
- 13) J. Kawai, K. Hayashi, K. Okuda and A. Nisawa:

- RIGAKU Journal, 15(2), (1998), 33.
- 14) J. Kawai, K. Hayashi, K. Okuda and A. Nisawa : RIGAKU-DENKI Journal, 29(1), (1998), 23.
 - 15) J. Kawai, H. Takahashi and R. Shimizu : J. Trace Microprobe Techniques, 17 (1999), 39.
 - 16) J. Kawai and H. Takahashi : Spectrochim. Acta, B54 (1999), 231.
 - 17) J. Kawai, H. Takahashi, K. Hayashi, S. Okazaki and Y. Awakura : Tetsu-to-Hagané, 85 (1999), 80.
 - 18) J. Kawai and H. Takahashi : BUNSEKI KAGAKU, 48 (1999), 793.
 - 19) J. Kawai : J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., 101-103 (1999), 847.
 - 20) J. Kawai, K. Hayashi, H. Takahashi and Y. Kitajima : J. Synchrotron Rad. 6 (1999), 356.
 - 21) T. Fujikawa and J. Kawai : J. Phys. Soc. Jpn., 68 (1999), 4032.
 - 22) I. Abrahams, D. S. Urich, B. Vrebos and M. West : J. Phys. B : At. Opt. Phys., 32 (1999), L579.
 - 23) 前田邦子, 河合 潤 : X線分析の進歩, 25 (1994), 25.
 - 24) M. Kudo, M. Owari, Y. Nihei, Y. Gohshi and H. Kamada : Proc. Intern. Conf. on X-ray and XUV Spectroscopy, Jpn. J. Appl. Phys., 17 (Suppl. 17-2), (1978), 275.
 - 25) T. Suzuki, S. Omori and Y. Nihei : Surf. Sci., 440 (1999), L881.
 - 26) 林 好一, 河合 潤, 早川慎二郎, 後藤俊治, 二瓶好正, 合志陽一 : 放射光学会誌, 11 (1998), 361.
 - 27) 河合 潤 : 化学と工業, 49 (1996), 565.
 - 28) M. Tegze and G. Faigel : Nature, 380 (1996), 49.
 - 29) 露本伊佐男 : 化学と工業, 49 (1996), 1671.
 - 30) J. Kawai, K. Hayashi, T. Yamamoto, S. Hayakawa and Y. Gohshi : Anal. Sci. 14 (1998), 903.
 - 31) K. Hayashi, T. Yamamoto, J. Kawai, M. Suzuki, S. Goto, S. Hayakawa, K. Sakurai and Y. Gohshi : Anal. Sci., 14 (1998), 987.
 - 32) 飯島善時 : ふんせき, (1999), 761.
 - 33) 佐井 誠, 林 好一, 河合 潤 : X線分析の進歩, 31 (2000), 75.
 - 34) S. Omori, J. Kawai, and Y. Nihei : J. Phys. Soc. Jpn. 印刷中.
 - 35) 河合 潤 : ふんせき, (2000), 印刷中.
 - 36) B. L. Henke : Phys. Rev., 95 (1954), 359.
 - 37) J. Kawai, M. Takami, M. Fujinami, Y. Hashiguchi, S. Hayakawa and Y. Gohshi : Spectrochim. Acta, B47 (1992), 983.
 - 38) J. Kawai, S. Hayakawa, Y. Kitajima and Y. Gohshi : Anal. Sci., 11 (1995), 519.
 - 39) J. Kawai, S. Hayakawa, Y. Kitajima and Y. Gohshi : Adv. X-Ray Chem. Anal. Japan, 26s, (1995), 97.
 - 40) J. Kawai, S. Hayakawa, Y. Kitajima, K. Maeda and Y. Gohshi : J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., 76, (1995), 313.
 - 41) J. Kawai, S. Kawato, K. Hayashi, T. Horiuchi, K. Matsushige and Y. Kitajima : Appl. Phys. Lett., 67 (1995), 3889.
 - 42) K. Hayashi, S. Kawato, T. Horiuchi, K. Matsushige, Y. Kitajima and J. Kawai : Appl. Phys. Lett., 68 (1996), 1921.
 - 43) 天野裕之, 河合 潤, 林 好一, 北島義典 : X線分析の進歩, 28 (1997), 31.
 - 44) 林 好一, 河合 潤, 川戸伸一, 堀内俊寿, 松重和美, 北島義典 : X線分析の進歩, 28 (1997), 45.
 - 45) 林 好一, 河合 潤, 川戸伸一, 堀内俊寿, 松重和美, 竹中久貴, 北島義典 : X線分析の進歩, 28 (1997), 53.
 - 46) J. Kawai, H. Adachi, Y. Kitajima, K. Maeda, S. Hayakawa and Y. Gohshi : J. Surf. Anal., 2 (1996), 132.
 - 47) J. Kawai, H. Adachi, Y. Kitajima, K. Maeda, S. Hayakawa and Y. Gohshi : Anal. Sci. 13 (1997), 797.
 - 48) J. Kawai, H. Amano, K. Hayashi, T. Horiuchi, K. Matsushige and Y. Kitajima : Spectrochim. Acta, B52 (1997), 873.
 - 49) J. Kawai, K. Hayashi, H. Amano, H. Takenaka and Y. Kitajima : J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., 88-91 (1998), 787.
 - 50) J. Kawai, M. Sai, T. Sugimura, K. Hayashi, H. Takenaka and Y. Kitajima : X-Ray Spectrom., 28 (1999), 519.
 - 51) T. Jach and S. M. Thurgate : US Patent 5280176 (1994)
 - 52) J. Kawai, H. Adachi, S. Hayakawa, S. Y. Zhen, K. Kobayashi, Y. Gohshi, K. Maeda and Y. Kitajima : Spectrochim. Acta, B49 (1994), 739.
 - 53) J. Kawai, S. Hayakawa, S. Zheng, Y. Kitajima, H. Adachi, Y. Gohshi, F. Esaka and K. Furuya : Physica, B208&209 (1995), 237.
 - 54) J. Kawai, S. Hayakawa, F. Esaka, S. Zheg, Y. Kita-

- jima, K. Maeda, H. Adachi, Y. Gohshi and K. Furuya : Anal. Chem., 24 (1995), 1526.
- 55) 鄭松岩, 早川慎二郎, 河合 潤, 古谷圭一, 合志陽一 : X線分析の進歩, 26 (1995), 217.
- 56) J. Kawai, T. Yamamoto, S. Tohno and Y. Kitajima : Spectrochim. Acta, B54 (1999), 241.
- 57) Y. Muramatsu, M. Oshima, J. Kawai and H. Kato : Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., B75 (1993), 559.
- 58) Y. Muramatsu, J. Kawai, T. Scimeca, M. Oshima and H. Kato : Phys. Scripta, 50 (1994), 25.
- 59) J. Kawai, Y. Muramatsu, A. Agui, S. Shin and H. Kato : Spectrochim. Acta, B52 (1997), 593.
- 60) J. Kawai, T. Yamamoto, Y. Harada and S. Shin : J. Synchrotron Rad., 5 (1998), 1067.
- 61) J. Kawai, S. Tadokoro, Y. Muramatsu, S. Kashiwai, H. Kohzuki, M. Motoyama, H. Kato and H. Adachi : Physica, B208&209 (1995), 251.
- 62) Y. Muramatsu, M. Oshima, J. Kawai, S. Tadokoro, H. Adachi, A. Agui, S. Shin, H. Kato, H. Kohzuki and M. Motoyama : Phys. Rev. Lett., 76 (1996), 3846.
- 63) 河合 潤 : 化学と工業, 47 (1994), 1191.
- 64) J. Kawai, K. Maeda, N. Sakauchi and I. Konishi : Spectrochim. Acta, 50 (1995), L1.
- 65) J. Kawai, K. Maeda, N. Sakauchi and I. Konishi : Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., B109/110 (1996), 206.
- 66) 河合 潤, 稲田伸哉, 前田邦子 : X線分析の進歩, 29 (1998), 203.
- 67) J. D. Brownridge and S. Raboy : J. Appl. Phys., 86 (1999), 640.
- 68) 尾嶋正治 : 放射光学会誌, 12 (1999), 127.

(1999年8月19日受付)

ふえらむの窓

APEC技術者資格相互承認プロジェクト

1995年大阪で開催されたAPEC閣僚会議において、APECの発展のためには域内での適切な技術移転が必須であり、技術者の域内での自由な移動を促進することが必要である旨が決議された。その後、オーストラリアが表記プロジェクトを提案し、承認された。5回の運営会議を重ね、1998年6月にAPEC技術者の概念確定と相互承認の枠組みが合意された。

APEC技術者に必要な5要件は次のようなものである(1)認定または承認されたエンジニアリング過程の終了、(2)自己の判断による業務遂行能力の保有、(3)7年以上の実務経験、(4)重要なエンジニア業務における責任ある役割を2年以上遂行、(5)継続的な能力開発の実施、等で、この他、行動規範の遵守も必要である。

相互承認の枠組みは、(1)各国においてAPEC技術者を登録するモニタリング委員会を設置、(2)各国のモニタリング委員会の活動を調整するための国際的な調整委員会を設置する、ことである。当初から参加する国は、豪、加、インドネシア、日本、マレーシア、ニュージーランド、フィリピン、タイ、シンガポールで、参加する意志のある国は、中国、香港、韓国、ベトナムである。

この間に実施された各国の技術者資格制度の実態調査の結果、各国の制度は相違点はあるものの、相互承認に必要な共通事項を備えていることが判明した。我が国としては「技術士」と「一級建築士」の制度で対応することとなった。

日本国内対応としては、(1)関係省庁連絡会設置(1999年1月、事務局は科学技術庁)、(2)モニタリング委員会を設置(1999年1月、庶務は日本技術士会)、(3)モニタリング委員会において調整委員会に提出する審査基準、手順などを作成中である。

今後の国際的スケジュールは、2000年4月にAPECエンジニア登録に関する文書(案)を資格当局へ回付、2000年6月に第2回調整委員会及び資格当局によるワークショップ、2000年10月に最終案をとりまとめAPEC人材養成作業部会へ報告する。

経済社会のグローバル化に伴う国際情勢の変化に対応して、世界貿易関(WTO)により専門職業人の自由な移動促進の枠組みが策定されるとともに、欧州においてはヨーロッパ技術者[European Engineer(Eur Ing)](FEANI)、カナダ、米国、メキシコの3国においては技術者免許相互承認(NAFTA)が制度化されている。このように、国境を越えて活躍できる技術者(グローバルエンジニア)の具体化は加速度的に進行している。

(東京理科大 大河内 春乃 2000年3月16日受付)