

JIS 法における金属材料の ICP-OES 分析のための前処理法

誘導結合プラズマ発光分光分析法 (ICP-OES) は、多元素一斉分析が可能であり、少量試料の場合でも組成分析が可能である。ICP-OES による定量分析は試料の溶液化が必要であり、測定の有無は前処理にかかっている。しかしながら、新規材料などでは前処理法が確立していないことが多い。そこで、本稿では、JIS 法の解説及び JIS 法を参考にした ICP-OES による一斉分析の可能性について述べる。

岩 撫 暁 生

1 はじめに

材料開発において、その材料が想定通りの組成であるかを判定するためには、化学分析による精確な組成分析が必要となる。蛍光 X 線 (XRF) やグロー放電質量分析法 (GD-MS) などの表面分析法でも組成情報を得ることは可能であるが、XRF 分析法などによって得られる情報は表面の一部分の組成情報にすぎず、試料内部に局在している極微量の添加元素及び混入元素の定量する場合、スパッタ法やエッチング法を用いた深さ方向の分析が必要となる。また、XRF 分析法や GD-MS において使用できる認証標準物質は合金種が限定され、XRF では二次 X 線の吸収あるいは二次励起によるマトリックス効果の補正が、GD-MS では相対感度係数による分析値の補正が必要である。

一方、化学分析は、ある程度の試料質量が必要となるが、主成分元素も微量元素も精度よく定量が可能である。化学分析では XRF 法や GD-MS とは違い破壊分析であるため、試料を適切な前処理を適用して溶液化をする必要がある。溶液化した試料に対して容量法及び重量法などの絶対法、もしくは誘導結合プラズマ発光分光分析法 (ICP-OES)、誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS)、原子吸光分析法 (AAS) などの相対法を適用して、各元素濃度を定量する。また、XRF 分析や GD-MS では表面の一部分の組成情報しか得られないが、化学分析では試料の平均濃度組成を得ることができる。

化学分析によって合金材料の元素組成を高い正確性で分析するためには、各種酸分解や融解処理を組合せて試料の溶液化を行う必要がある。材料の元素組成分析の有無の肝は、前処理にあるといっても過言ではなく、前処理が成功しなければその後の測定はまったく意味をなさない。そのため、前処理法が定まっていないような新規な合金材料では、前処理法の開発に苦勞することが多

Preparation Method for ICP-OES Analysis of Metal Material on Japanese Industrial Standards Method.

い。少量試料の場合、物性試験及び性能評価の後に残った試料で組成分析を行う場合もあり、前処理法をいくつも試すことができない場合が多い。それゆえ、少量試料では元素毎に定量法を変えるのは困難であり、多元素同時測定可能な ICP-OES 及び ICP-MS による定量が適していると言える。ICP-OES 及び ICP-MS を適用する場合の前処理とは、固体試料の溶液化である。同じ誘導結合プラズマを用いる方法ではあるが、両者における前処理の考え方は大きく異なる。ICP-OES は ICP-MS と比較して高マトリックスの溶液の測定が可能であるため、微量元素を正確に評価する場合を除いてマトリックスを分離しなくても測定は可能である。例えば、0.5 g ほどの金属試料を酸による溶解処理及びアルカリ融解による残渣処理を組み合わせると均一な溶液を調製し、酸、アルカリ及びマトリックス金属イオン濃度を一致させたマッチング検量線溶液を用いて試料溶液中元素濃度を定量する。一方、ICP-MS は高マトリックスの溶液を測定した場合にマトリックス元素がメモリーとして残り、後に述べるマトリックス元素由来の多原子イオンのスペクトル干渉が後の分析に影響を与えるため、マトリックスの低減もしくは分離が必要となる。一般的に ICP-MS の測定では試料の酸溶解後、希釈あるいは溶媒抽出などの分離法を適用して、マトリックスを除去、またはその濃度を低減する必要がある。実際に著者の所属する化学分析グループでは新規合金の組成分析の依頼に対し、JIS に記載されている前処理法を参考に、元素毎の酸及びアルカリへの溶解性を考慮して少量試料でも適切に前処理を行い、ICP-OES による合金元素の多元素一斉定量を行っている。

金属及び合金の化学分析方法は、JIS の鉄鋼 (G シリーズ) と非鉄金属 (H シリーズ) の項にそれぞれ収録されている。マトリックス元素と目的元素の化学的性質に適した前処理法及び定量法が記載されているため一元素一方法の場合が多い。しかしながら、JIS は元素ごとの前処理法の中には共通している方法もあり、多元素

測定方法の開発の参考になる。本稿では金属材料の組成分析法の中でも ICP-OES に焦点を置き、JIS の解説及び JIS を参考にした ICP-OES による一斉分析の可能性について述べる。

2 鉄鋼試料の前処理法

ステンレス鋼、工具鋼などを始めとする鉄鋼材料は、鉄をベースとして様々な元素を添加して目的の材料性能を得ている。そのため、一般的な酸溶解のみでは炭素やケイ素などが未分解残渣として残ることが多く、JIS における鉄鋼材料の化学分析では、酸分解と残渣処理を組み合わせた分析法が規定されている。

JIS G 1258¹⁾には、ICP-OES による鉄及び鋼中の元素組成分析法が規定されている。JIS G 1258 に収録されている前処理方法と対象鋼種を表 1 に示す。JIS G 1258 では、第 1 部から第 3 部は多元素定量方法、その他の部では 1 元素のみの定量方法が規定されている。基本的には第 1 部、第 2 部及び第 3 部から分析試料の鋼

表 1 JIS 1258 に規定されている鉄及び鋼の ICP-OES 前処理方法

	対象鋼種	検定元素	前処理方法
第 1 部	炭素鋼、低合金鋼	Si, Mn, P, Ni, Cr, Mo, Cu, V, Co, Ti, Al, Ca, Mg, As, Zr, Zn	酸分解・二硫酸カリウム融解
第 2 部	ステンレス鋼、高炭素鋼、高クロム合金、工具鋼、高速度工具鋼	Mn, Ni, Cr, Mo, Cu, W, V, Co, Ti, Nb, Ca, Mg, As, Zr	硫酸リン酸分解
第 3 部	ステンレス鋼	Si, Mn, P, Ni, Cr, Mo, Cu, V, Co, Ti, Al, Ca, Ms, As	酸分解・炭酸ナトリウム融解
第 4 部	炭素鋼・低合金鋼、ステンレス鋼におけるニオブ添加鋼種	Nb	酸分解・二硫酸カリウム融解
第 5 部	原子力用ホウ素添加ステンレス鋼、高炭素・高クロム合金鋼などにおけるホウ素添加鋼種	B	硫酸リン酸分解
第 6 部	炭素鋼・低合金鋼などにおける微量ホウ素添加鋼種	B	酸分解・炭酸ナトリウム融解
第 7 部	微量のホウ素が混入した鋼	B	ホウ酸トリメチル蒸留分離法
第 8 部	高速度工具鋼	W	硫酸リン酸分解

種に適した方法を選択し、Nb, B 及び W について正確性の高い分析が必要な場合に、第 4 部から第 8 部の方法を選択する。

第 1 部は低合金鋼などの酸分解容易な試料を対象としている。このような鋼種で残渣として残る元素は金属酸化物や金属炭化物が多いため、残渣は二硫酸カリウムで融解する。酸分解溶液と残渣処理溶液とを合併するため、測定溶液は鉄、酸、硫酸カリウムなどを高濃度を含む。このような溶液の ICP-OES 測定においては、試料溶液と検量線溶液間のマトリックス濃度を一致させ、内標準元素を添加による発光強度比法を適用して物理干渉及びイオン化干渉を低減する必要がある。なお、内標準元素は JIS G 1238-0 解説によるとイットリウムもしくはスカンジウムを使用することができる。

第 2 部はステンレス鋼、工具鋼などの高クロム、高タングステンを含む鋼種を対象としており、第 1 部で使用する混酸 (HCl : HNO₃ : 水 = 1 : 1 : 2) では完全に溶解することができない。そこで、硫酸及びリン酸を含む混酸で白煙が生じるまで加熱し、硫酸から生成する三酸化硫黄の酸化力とリン酸が脱水縮合して生成するポリリン酸による強い解砕作用によって試料を完全に溶解する。ただし、通常のホウケイ酸ガラスの容器で、硫酸・リン酸を入れて加熱しすぎると、ホウケイ酸ガラスが飴のように溶けてしまうことがある。硫酸・リン酸で白煙処理を行う場合、石英ガラスの容器で行うとこのようなことは避けられるが、注意深く加熱する必要がある。白煙処理後の試料溶液はタングステンが酸化タングステンまで酸化されて沈殿する。放冷後、酸化タングステンなどの塩類は水及び過酸化水素を加えることによって溶解することができる。この方法で得られる試料溶液は高粘性のリン酸を含み、物理干渉が避けられないため、検量線溶液はマトリックスマッチングと内標準元素の添加は必須である。

第 3 部は残渣処理方法が炭酸ナトリウム融解であるため、基本的に金属元素の酸化物残渣が生じる場合に有効である。ステンレス鋼を対象としているが JIS G 1258-3 の解説によるとクロムの残渣を完全に処理できないことがあるため、融成物の酸溶解後の目視確認が必要である。炭酸ナトリウム融解で残渣を完全に分解できない試料については本法を適用することはできない。

第 4 部ではニオブ定量法が規定されている。高融点金属であるニオブは塩酸・硝酸だけでは溶解することができないため硫酸・リン酸による白煙処理、もしくは塩酸・硝酸分解後二硫酸カリウム融解によって試料前処理を行う。ニオブは加水分解による沈殿を生じやすく、沈殿を防止するために、前者の方法では L(+)-酒石酸溶液と塩酸、後者の方法では過酸化水素を添加して酸化ニオブの沈殿を防ぐ。

第 5 部から第 7 部はホウ素定量法が規定されてい

る。それぞれの部で規定されている前処理方法は、硫リン酸分解法、混酸（ $\text{HCl}:\text{HNO}_3:\text{水}=1:1:2$ ）分解後炭酸ナトリウム融解及びホウ酸トリメチル蒸留分離法である。これらの前処理法は、目的試料のホウ素含有率によって使い分け、0.01%以上のホウ素を含む場合は第5部を適用し、0.001以上0.01%未満の場合は第6部を、0.001%未満のホウ素の評価には第7部をそれぞれ適用する。JIS G 1258-0の解説によると第6部と第3部は同じ適用成分上限値と前処理法であるため、第6部の前処理法によって得られた溶液は第3部において規定されている元素と同時に測定が可能である。第7部以外の方法で調製した溶液では鉄を含む。鉄と目的元素のホウ素の分光干渉があるため、ICP-OESによるホウ素の測定においては高分解能器を使用するか、複数波長を測定し、分光干渉を受けない波長を選択することが必要である。

第8部はタングステン定量法が規定されている。高速度工具鋼などのタングステン含有率が高い試料を対象としており、混酸（ $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_3\text{PO}_4:\text{水}=1:3:2$ ）によって試料前処理を行う。高含有率のタングステンを完全に溶解するにはフッ化水素酸の添加が必要であり、硫酸白煙を生じさせた後、フッ化水素酸を添加する。ガラス容積計をフッ化水素酸によって侵されないようにするために、再び硫酸白煙を生じさせ、放冷後、過酸化水素と塩酸を添加して酸化タングステンなどの塩を溶解する。このようにして得られる試料溶液は第2部と同様に高粘性のリン酸を含み、物理干渉が避けられないため、検量線溶液はマトリックスマッチングと内標準元素の添加は必須である。

3 フェロアロイの前処理法

フェロアロイは、鉄をベースに鉄以外の元素を20～90%含む合金であり、他の合金作製時の脱硫・脱酸素のために添加される他、フェロクロム、フェロニッケル及びフェロセリウムなどそれぞれ単独で合金材料として用いられるものもある。いずれの合金も鉄よりも添加される元素の性質の影響が大きく、JISにおける前処理法では、鉄鋼材料と異なる方法が規定されている。また、定量対象となる元素の種類が少なく、ICP-OESを適用していても対象元素は1元素のみであることが多い。フェロアロイは鉄鋼に比べ、一部で酸分解が困難な試料があり、セラミックスのように直接試料を融解する方法が規定されているものもある。JIS G 1313第3部フェロクロム中のケイ素のICP-OESによる定量法の例を挙げると、試料0.5gをニッケルをつぼもしくはジルコニウムをつぼに移し入れ、融解合剤（過酸化ナトリウム7、炭酸ナトリウム3）5gを加えてよくかき混ぜその上に融解合剤1gをかぶせて融解を行う。このようにフェロアロイの融解には数gの融剤を要するため、融剤由

来の元素がブランク値を押し上げる。ブランク値が測定結果に影響するような場合、特級試薬よりもさらに高純度の融剤を用意する必要がある。また、加熱時の融体の色が濃い場合、融け残りが見えにくく融解が完了したかの見極めが非常に難しい。このような場合、分析対象に近い合金種の認証標準物質を用いてあらかじめ融解条件を予備検討した方が良い。著者の分析室で難分解性フェロアロイの組成分析を行う場合、予備加熱時間に着目し、確実に融解できる条件を決定している。

4 非鉄合金の前処理法

鉄以外の金属、例えば銅、ニッケル、マグネシウム、アルミニウム、チタン、ジルコニウム、タンタル及びタングステンを主成分とする合金は、産業において幅広く利用されており、その組成もさまざまである。これらの非鉄金属の合金の化学分析方法は、JIS Hシリーズに規定されている²⁾。鉄鋼のように多元素定量法が規定されている合金種は少ないが、前処理法は似通っているためICP-OESによって一斉分析が可能な合金種もある。

JISに規定されている銅及び銅合金のICP-OES及び代表的な分析方法の前処理法を表2に示す。なお、各分析法名はJISをそのまま引用しているため、後の表中で表記が異なることを先に断っておく。銅及び銅合金においては、ヒ素、テルル及び水銀以外の元素がICP-OESによって定量可能である。しかしながら測定する元素以外の元素を10mgの桁までマッチングした検量線溶液を調製しなければならない。その点を注意すれば、ケイ素、ベリリウム、硫黄、クロム及びジルコニウムを除いた元素については、混酸（ $\text{HCl}:\text{HNO}_3:\text{水}=2:1:2$ ）による前処理を適用し、ICP-OESによって一斉に定量可能である。

JISに規定されているニッケル及びニッケル合金のICP-OES及び代表的な分析方法の前処理法を表3に示す。ニッケル及びニッケル合金に適用できるICP-OESは、タングステン、ニオブ、タンタル及びジルコニウムのみである。ただし、銅、鉄、マンガン、ケイ素、クロム、バナジウム、コバルト及びアルミニウムのAASを参照すると、ケイ素を除くと前処理法は硝酸（1+1）もしくは混酸（塩酸3硝酸1）による溶解が規定されている。AASにおいては、試料のはかり取り量が1gと多いため、はかり取り量を少なくし、物理干渉を抑えることによって、AASの前処理法を適用してICP-OESによって定量できる可能性がある。ただしAASと同様にマトリックスをマッチングした検量線溶液の調製が必要となる。

JISに規定されているマグネシウム及びマグネシウム合金のICP-OES及び代表的な分析方法の前処理法を表4に示す。マグネシウム及びマグネシウム合金に適用できるICP-OESは、ベリリウム、スズ、鉛及びカドミウム

表 2 銅及び銅合金の前処理方法の例

規格番号	検定元素	代表的な分析方法	前処理方法
H1051	Cu	電解重量法	硫酸+硝酸, 硝酸+フッ化水素酸+ホウ酸
H1052	Sn	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1053	Pb	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1054	Fe	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1055	Mn	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1056	Ni	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1057	Al	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1058	P	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1059	As	モリブドヒ酸抽出吸光光度法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1060	Co	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1061	Si	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2) + フッ化水素酸 (1+9)
H1062	Zn	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1063	Be	ICP 発光分光法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1064	Te	臭化物+メチルトリオクチル アンモニウムブロミド抽出原子吸光法	硝酸 (1+1) + 硫酸 (1+1)
H1065	Se	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1066	Hg	水銀気化フレームレス原子吸光法	[硝酸1, 硫酸 (1+2) 3]
H1067	O	不活性ガス融解-赤外線吸収法	—
H1068	Bi	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1069	Cd	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1070	S	ICP 発光分光法	過塩素酸カリウム, 硝酸
H1071	Cr	ICP 発光分光法	硝酸 (1+1) + 硫酸 (1+1)
H1072	Sb	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1073	Ti	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2)
H1074	Zr	ICP 発光分光法	混酸 (塩酸 2, 硝酸 1, 水 2) + フッ化水素酸

のみである。AASは、アルミニウム、亜鉛、マンガ
ン、銅、ニッケル、鉄及びカルシウムを定量する方法が
規定されている。このうちアルミニウム、銅、ニッケル
及び鉄の前処理は抽出分離を伴う。いずれも塩酸 (1+
1) 及び過酸化水素による前処理法であり、マトリッ
クス分離する方法ではそのまま測定可能である。一方、直
接 AAS の前処理法を適用する場合は、はかりとり量を
減らし、マトリックスをマッチングした検量線溶液を用
いた ICP-OES によって定量できる可能性がある。

JIS に規定されているアルミニウム及びアルミニウム
合金の ICP-OES 及び代表的な分析方法の前処理法を表
5 に示す。ICP-OES による一斉分析法は、JIS H 1307
に規定されており、アルミニウム含有率 99 % 以上であ
れば HCl (1+1) 及び過酸化水素、アルミニウム含有
率 99 % 未満であれば HCl (1+1) 及び HNO₃ (1+1)
をそれぞれ用いて試料を溶解し、ICP-OES によって規
定されている元素の定量が可能である。JIS 中の表記に
倣い前者を A 法、後者を B 法と呼ぶことにする。ベリ

リウムの定量法を規定している JIS H 1367 の解説によ
ると、ベリリウムの ICP-OES の前処理法は、将来的に
JIS H 1307 と統合予定であるため A 法及び B 法と同
じ方法が規定されている。カドミウムは、前処理法が
JIS H 1307 A 法と同じであるためアルミニウム含有率
99 % 以上の試料については、他の元素と同時に測定で
きる可能性がある。ケイ素は、前処理法が他の元素と大
きく異なり、JIS H 1352 によると水酸化ナトリウム水
溶液もしくは粒状水酸化ナトリウムによって試料を溶解
し、混酸を加えて酸性溶液とした後、ICP-OES によ
って測定する。

JIS に規定されているチタン及びチタン合金の ICP-
OES 及び代表的な分析方法の前処理法を表 6 に示す。
JIS H 1632 には ICP-OES による一斉分析法が規定さ
れており、前処理法に使用する酸の組み合わせは、
HNO₃ + HF、H₂SO₄ + HF 及び HCl + HF + HNO₃ の 3
方法が規定されている。それぞれ a) 法、b) 法及び c)
法とする。なお、ケイ素の定量には c) 法のみを、イッ

表3 ニッケル及びニッケル合金の前処理方法の例

規格番号	検定元素	代表的な分析方法	前処理方法
H1272	Cu	原子吸光法	硝酸 (1+1) or 混酸 (塩酸 3 硝酸 1)
H1273	Fe	原子吸光法	硝酸 (1+1) or 混酸 (塩酸 3 硝酸 1)
H1274	Mn	原子吸光法	硝酸 (1+1) or 混酸 (塩酸 3 硝酸 1)
H1275	C	燃焼-赤外線吸収法 (積分法)	—
H1276	Si	原子吸光法	混酸 (塩酸 3, 硝酸 1) + フッ化水素酸 (1+9)
H1277	S	燃焼-赤外線吸収法 (積分法)	—
H1278	P	水酸化鉄共沈分離+モリブドリン酸抽出分離モリブドリン酸青吸光光度法	硝酸 (1+1) or 混酸 (塩酸 5 硝酸 1)
H1279	Cr	原子吸光法	塩酸, 硝酸 or 混酸 (塩酸 3 硝酸 1)
H1280	Mo	イオン交換+ベンゾイル- α -オキシム沈殿分離酸化モリブデン重量法	塩酸+硝酸+フッ化水素酸
H1281	V	原子吸光法	混酸 (塩酸 3 硝酸 1)
H1282	W	イオン交換分離 ICP 発光分光法	塩酸+硝酸+フッ化水素酸
H1283	Co	原子吸光法	硝酸 (1+1) or 混酸 (塩酸 3 硝酸 1)
H1284	Al	原子吸光法	混酸 (塩酸 3, 硝酸 1)
H1285	B	ホウ素クルクミン錯体吸光光度法	塩酸+硝酸+硫酸, リン酸
H1286	Ti	チタンジアンチピリルメタン錯体吸光光度法	塩酸+硝酸
H1289	Nb, Ta, Zr	ICP 発光分光分析法	混酸 A (硝酸 1 フッ化水素酸 1) 混酸 B (硝酸 1 フッ化水素酸 1 水 1 塩酸 3) 混酸 C (硝酸 1 フッ化水素酸 1 水 1 塩酸 5)

表4 マグネシウム及びマグネシウム合金の前処理方法の例

規格番号	検定元素	代表的な分析方法	前処理方法
H1332	Al	鉄+亜鉛分離 8-キノリノール抽出原子吸光法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1333	Zn	原子吸光法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1334	Mn	原子吸光法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1335	Si	モリブドケイ酸青吸光光度法 (スルホン酸還元法)	ホウ酸溶液+硫酸 (1+4) + 硝酸 (1+1)
H1336	Cu	ジエチルジチオカルバミン酸+ピロリジンジチオカルバミン酸抽出原子吸光法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1337	Ni	ジエチルジチオカルバミン酸+ピロリジンジチオカルバミン酸抽出原子吸光法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1338	Fe	ジエチルジチオカルバミン酸+ピロリジンジチオカルバミン酸抽出原子吸光法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1339	Be	ICP 発光分光分析法	塩酸 (1+1) + 硝酸 (1+1) or 硝酸 (1+1)
H1340	Zr	アリザリンレッド S 吸光光度法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素 残渣処理: フッ化水素酸+過塩素酸
H1341	Ca	原子吸光法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1342	Sn	ICP 発光分光分析法	硝酸 (1+1) + 塩酸 (1+1) or 硝酸 (1+1)
H1343	Pb	ICP 発光分光分析法	硝酸 (1+1) + 塩酸 (1+1) or 硝酸 (1+1)
H1344	Cd	ICP発光分光分析法	硝酸 (1+1) + 塩酸 (1+1) or 硝酸 (1+1)
H1345	希土類	水酸化ジルコニウム共沈+セバシン酸塩沈殿+シュウ酸塩沈殿分離希土類酸化物重量法	塩酸

表5 アルミニウム及びアルミニウム合金の前処理方法の例

規格番号	検定元素	代表的な分析方法	前処理方法
H1306	Fe, Cu, Mn, Zn, Mg, Cr, Ni, Bi, Pb	原子吸光分析法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1307	A 法 : Cu, Fe, Mn, Mg, Zn, Ti, Cr, V B 法 : Cu, Fe, Mn, Mg, Zn, Ti, Cr, Pb, Bi, Zr, Sn, V, B	誘導結合プラズマ発光分光分析法	A 法 : 塩酸 (1+1) + 過酸化水素 B 法 : 塩酸 (1+1) + 硝酸 (1+1)
H1352	Si	誘導結合プラズマ発光分光分析法	A 法 : 水酸化ナトリウム溶液, 過酸化水素 (1+9) B 法, C 法 : 粒状水酸化ナトリウム + 過酸化水素 (1+9)
H1353	Fe	1,10-フェナントロリン吸光光度法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1354	Cu	ジエチルジチオカルバミン酸抽出吸光光度法	水酸化ナトリウム溶液
H1355	Mn	過マンガン酸吸光光度法	水酸化ナトリウム溶液
H1356	Zn	イオン交換分離エチレンジアミン四酢酸二水素二ナトリウム滴定法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1357	Mg	炭酸ナトリウム沈殿分離エチレンジアミン四酢酸二水素二ナトリウム滴定法	水酸化ナトリウム溶液
H1358	Cr	二クロム酸抽出分離ジフェニルカルバジド吸光光度法	混酸 (硝酸 40 mL に硫酸 (1+1) 60 mL を加える)
H1359	Ti	過酸化水素吸光光度法	水酸化ナトリウム溶液
H1360	Ni	ジメチルグリオキシム抽出分離ピリジルアゾレゾルシン吸光光度法	混酸 (塩酸 1, 硝酸 1, 水 2)
H1361	Sn	原子吸光分析法	混酸 (塩酸 3, 硝酸 1, 水 4)
H1362	V	N-ベンゾイル- <i>o</i> -トリルヒドロキシルアミン抽出吸光光度法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1363	Zr	ICP 発光分析法	塩酸 (1+1) + 硝酸 (1+1)
H1364	Bi	ICP 発光分析法	塩酸 (1+1) + 硝酸 (1+1)
H1365	B	ICP 発光分析法	塩酸 (1+1) + 硝酸 (1+1)
H1366	Pb	ICP 発光分析法	塩酸 (1+1) + 硝酸 (1+1)
H1367	Be	ICP 発光分析法	A 法 : 塩酸 (1+1) + 過酸化水素, B 法 : 塩酸 (1+1) + 硝酸 (1+1)
H1368	Ga	ローダミン B 抽出吸光光度法	塩酸 (1+1)
H1369	Cd	ICP 発光分析法	塩酸 (1+1) + 過酸化水素
H1370	Hg	還元気化原子吸光分析法	硫酸 (1+1) + 硝酸

トリウムの定量にはフッ化イットリウムの沈殿が生じるのを避けるため、b) 法だけを適用する。b) 法では、硫酸白煙を生じるまで加熱するため、フッ化水素酸が揮散し溶解にフッ化水素酸が必要なジルコニウム、タンタル及びニオブが沈殿してしまい、これらの元素の定量にはこの方法を適用できない。各方法で使用できる内標準元素に着目すると a) 法及び c) 法においては、内標準元素はコバルトのみに限定されるが、b) 法では前処理過程でフッ化水素酸を揮散させるため、フッ化水素酸存在下で沈殿を生じるイットリウム及びランタンを使用することができる。ホウ素については塩酸・硫酸 (1+1)

によって試料を溶解した後、ホウ酸メチル蒸留分離を行うため、他の元素と同時に分析はできないが、マトリックスが分離されるため、ICP-MSを適用すればJISで規定されているホウ素含有率以下のホウ素を評価できる可能性がある。

JISに規定されている、もしくは規定されていたジルコニウム及びジルコニウム合金のICP-OES及び代表的な分析方法の前処理法を表7に示す。一斉分析が可能な方法は規定されていないが、鉄、ニッケル、クロム、スズ及びタンゲステンは、HF (1+6) + HCl (1+1), H₂SO₄ + (NH₄)₂SO₄ もしくは HF (1+1) を用いて溶解

表 6 チタン及びチタン合金の前処理方法の例

規格番号	検定元素	代表的な分析方法	前処理方法
H1612	N	不活性ガス融解-熱伝導度法	—
H1613	Mn	ICP 発光分光法	硝酸 (1+1) + フッ化水素酸 (1+1) or 硫酸 (1+1) + フッ化水素酸 (1+1)
H1614	Fe	誘導結合プラズマ発光分光法	硝酸 (1+1) + フッ化水素酸 (1+1) or 硫酸 (1+1) + フッ化水素酸 (1+1)
H1615	Cl	硝酸銀滴定法	水 + フッ化水素酸
H1616	Mg	誘導結合プラズマ発光分光法	硝酸 (1+1) + フッ化水素酸 (1+1) or 硫酸 (1+1) + フッ化水素酸 (1+1)
H1617	C	燃焼-赤外線吸収法 (積分法)	—
H1618	Si	四フッ化ケイ素気化分離 モリブドケイ酸青吸光度法	水 + 硝酸ナトリウム水溶液 + フッ化水素酸 (1+1)
H1619	H	不活性ガス融解-赤外線吸収法	—
H1620	O	不活性ガス融解-赤外線吸収法	—
H1621	Pd	誘導結合プラズマ発光分光法	硝酸 (1+1) + フッ化水素酸 (1+1) or 硫酸 (1+1) + フッ化水素酸 (1+1)
H1622	Al	ICP 発光分光分析法	硝酸 (1+1) + フッ化水素酸 (1+1) or 硫酸 (1+1) + フッ化水素酸 (1+1)
H1623	Na	原子吸光法	水, フッ化水素酸
H1624	V	過マンガン酸カリウム酸化 硫酸二アンモニウム鉄(II) 滴定法	硫酸 (1+1) + フッ化水素酸 + ホウ酸溶液
H1625	La, Ce, Pr, Nd	ICP 発光分光分析法	硫酸 (1+1) + 塩酸 (1+1)
H1626	S	ICP 発光分光分析法	塩酸カリウム溶液 + 水 + 混酸 (硝酸 1, フッ化水素酸 1)
H1632	Pd, Mn, Fe, Mg, Si, Al, V, Ni, Cr, Sn, Cu, Mo, Zr, Nb, Ta, Co, Y, B	ICP 発光分光分析法 * B のみ, ホウ化メチル蒸留分離 ICP 発光分光分析法	B 以外 : a) 硝酸 (1+1) + フッ化水素酸 (1+1) b) 硫酸 (1+1) + フッ化水素酸 (1+1) c) 塩酸 (1+1) + フッ化水素酸, 硝酸 (1+1) B : 塩酸 + 硫酸 (1+1)

し、ジルコニウム濃度をマッチングした検量線溶液を用いる ICP-OES によって定量できる。ハフニウムもほぼ同じ前処理法が規定されているが、HCl (1+1) ではなく塩酸を添加することと、ジルコニウムとハフニウムは化学的性質がよく似ており、高純度ジルコニウムといえどもハフニウム含有率が高い可能性があるためマッチングに使用するジルコニウム中のハフニウムの含有率は 0.0002 % 以下である必要があることが他の元素の ICP-OES の測定法と異なっている。アルミニウムについては、イオン交換分離 ICP-OES が、マンガン、銅、コバルト及びカドミウムはイオン交換分離 AAS が規定されている。これらの元素は塩酸溶離条件を検討すれば同時に測定できる可能性がある。また、マトリックスが分離されているため、ICP-MS によってより低い元素含有率を評価可能である。

JIS に規定されているタンタルの ICP-OES 及び代表的な分析方法の前処理法を表 8 に示す。JIS H 1699 には、マトリックスのタンタルを含んだまま ICP-OES によって定量する方法、タンタルマトリックスのイオン交

換分離法及びケイ素定量のための硝酸ナトリウムを含むフッ化水素酸 + 硝酸溶解法の 3 方法が規定されている。ケイ素の定量法以外では、アルミニウム、カルシウム、クロム、銅、鉄、マグネシウム、マンガン、モリブデン、ニオブ、ニッケル、チタン及びタングステンを定量する前処理法として、試料をフッ化水素酸 (1+1) + 硝酸 (1+1) によって溶解する方法が規定されている。直接測定する方法では、耐フッ化水素酸性の ICP-OES 導入系が必要であるのに対し、イオン交換分離法では、フッ化水素酸を含むイオン交換カラムからの溶離液に硫酸を加え白煙が生じるまで加熱しフッ化水素酸を揮散させるため、通常の導入を用いて測定が可能である。マトリックスが分離されているため、ICP-MS によってより低い元素含有率を評価可能であるが、高粘性の硫酸を含むため内標準法による物理干渉の補正が必要である。

タングステン中の元素の分析方法は、JIS H 1402³⁾ にタングステン粉及びタングステンカーバイド粉分析方法が、JIS H 1403⁴⁾ にタングステン材料の分析方法が

表7 ジルコニウム及びジルコニウム合金の前処理方法の例

規格番号	検定元素	代表的な分析方法	前処理方法
H1652	Mn	イオン交換分離原子吸光法	フッ化水素酸 (1+9)
H1653	N	不活性ガス融解-熱伝導度法	—
H1654	Fe	誘導結合プラズマ発光分光法	フッ化水素酸 (1+6) + 塩酸 (1+1), 硫酸+硫酸アンモニウム or フッ化水素酸 (1+1)
H1655	Ni	誘導結合プラズマ発光分光法	フッ化水素酸 (1+6) + 塩酸 (1+1), 硫酸+硫酸アンモニウム or フッ化水素酸 (1+1)
H1656	Cr	誘導結合プラズマ発光分光法	フッ化水素酸 (1+6) + 塩酸 (1+1), 硫酸+硫酸アンモニウム or フッ化水素酸 (1+1)
H1657	Cu	イオン交換分離原子吸光法	フッ化水素酸 (1+9)
H1658	Co	イオン交換分離原子吸光法	フッ化水素酸 (1+9)
H1659	Sn	誘導結合プラズマ発光分光法	フッ化水素酸 (1+6) + 塩酸 (1+1), 硫酸+硫酸アンモニウム or フッ化水素酸 (1+1)
H1660	Si	モリブドケイ酸青吸光光度法	塩化ナトリウム溶液+水+フッ化水素酸 (1+4)
H1661	Al	イオン交換分離誘導結合 プラズマ発光分光分析法	フッ化水素酸 (1+9)
H1662	Ti	イオン交換分離 DAM 吸光光度法	フッ化水素酸 (1+9)
H1663	C	燃焼-赤外線吸収法 (積分法)	—
H1664	H	不活性ガス融解-ガスクロマトグラフ法	—
H1665	O	不活性ガス融解-赤外線吸収法	—
H1667	Hf	ICP 発光分光分析法	フッ化水素酸 (1+6) + 塩酸
H1668	Nb	過酸化水素吸光光度法	硫酸アンモニウム+過塩素酸+硫酸
H1670	B	蒸留分離クルクミン吸光光度法 (ロソシアニン法)	硫酸, 硫酸アンモニウム
H1671	Cd	イオン交換分離原子吸光法	フッ化水素酸 (1+9)
H1672	U	イオン交換分離アルセナゾ III 吸光光度法	フッ化水素酸 (1+9)
H1673	Pb	イオン交換分離原子吸光法	フッ化水素酸 (1+9)
H1674	W	誘導結合プラズマ発光分光法	フッ化水素酸 (1+6) + 塩酸 (1+1), 硫酸+硫酸アンモニウム or フッ化水素酸 (1+1)

表8 タンタルの前処理方法の例

規格番号	検定元素	代表的な分析方法	前処理方法
H1681	C	燃焼-赤外線吸収法 (積分法)	—
H1683	Cr, Cu, Fe, Mn, Ni	陰イオン交換分離原子吸光法	フッ化水素酸 (1+1) + 硝酸 (1+1)
H1685	N	不活性ガス融解-熱伝導度法	—
H1695	O	不活性ガス融解-赤外線吸収法	—
H1696	H	不活性ガス融解-熱伝導度法	—
H1699	Al, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, Ti, W, Si	ICP 発光分光分析法	Si 以外: フッ化水素酸 (1+1) + 硝酸 (1+1) Si: 硝酸ナトリウム+フッ化水素酸+硝酸

それぞれ規定されている。タングステン粉、タングステンカーバイド粉及びタングステン材料の ICP-OES 及び代表的な分析方法の前処理法を表9に示す。前処理法は定量元素毎に項目が分かれているが、いずれの元素でも基本的には、リン酸+過酸化水素または混酸 (HCl : HNO₃ : 水=3 : 1 : 4) によって溶解後、ICP-OES による定量が規定されている。したがって、この JIS が規定している元素は ICP-OES によって一斉に定量が可能である。

5 前処理法の注意点

ここまで様々な前処理法を紹介してきたが、実際に行う際には、使用する酸によって試料に含まれる元素が沈殿しないことが必要条件となる。酸の種類と溶解可能な元素及び沈殿する元素の組み合わせを表10に示す。例えば合金の添加元素に高融点金属と希土類元素が

表 9 タングステン粉, タングステンカーバイド粉及びタングステン材料の前処理方法の例

規格番号	検定元素	代表的な分析方法	前処理方法
H1402	Fe	誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光法	リン酸+過酸化水素+混酸 (塩酸 3 硝酸 1 水 4)
	Mo	誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光法	リン酸+過酸化水素+混酸 (塩酸 3 硝酸 1 水 4)
	Ca	誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光法	リン酸+過酸化水素 or リン酸+過酸化水素+混酸 (塩酸 3 硝酸 1 水 4)
	Si	誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光法	リン酸+過酸化水素+混酸 (塩酸 3 硝酸 1 水 4)
	Al	誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光法	リン酸+過酸化水素+混酸 (塩酸 3 硝酸 1 水 4)
	Mg	誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光法	リン酸+過酸化水素 or リン酸+過酸化水素+混酸 (塩酸 3 硝酸 1 水 4)
	O	不活性ガス融解-赤外線吸収法	—
	T.C	焼燃-赤外線吸収法 (積分法)	—
	遊離 C	炭素沈殿分離燃焼-赤外線吸収法 (積分法)	—
	S	燃焼-赤外線吸収法 (積分法)	—
H1403	Fe	誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光法	リン酸+過酸化水素+混酸 (塩酸 3 硝酸 1 水 4)
	Mo	誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光法	リン酸+過酸化水素+混酸 (塩酸 3 硝酸 1 水 4)
	Ca	誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光法	リン酸+過酸化水素+混酸 (塩酸 3 硝酸 1 水 4)
	Si	誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光法	リン酸+過酸化水素+混酸 (塩酸 3 硝酸 1 水 4)
	Al	誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光法	リン酸+過酸化水素+混酸 (塩酸 3 硝酸 1 水 4)
	Mg	誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光法	リン酸+過酸化水素+混酸 (塩酸 3 硝酸 1 水 4)
	K	原子吸光法	過酸化水素+混酸 (硝酸 1 フッ化水素酸 1 水 3)
	不揮発分	揮発分分離重量法	—

表 10 酸の種類と溶解可能な元素及び沈殿する元素の組み合わせ

酸の種類	高融点金属 (Zr, Ta, Nb など)	希土類元素 (Y, Nd, Ce など)	Ag	Sn
塩酸	不溶	溶解	沈殿*	溶解
硝酸	不溶	溶解	溶解	沈殿
フッ化水素酸	他の酸を併用して溶解	沈殿	単独では不溶	単独では不溶

* 過剰の塩酸には溶解

含まれる場合、試料を完全に溶解するためには、フッ化水素酸が必要である。しかしながら、このような合金の前処理においてフッ化水素酸を添加すると希土類元素は沈殿してしまうため、酸分解後のろ過・残渣処理が必要となる。また、フッ化水素酸による沈殿は試料溶解時だけでなく、ICP-OES 測定の内標準元素を添加する場合にも問題となる。前処理にフッ化水素酸を添加した場合は、イットリウムなどの希土類元素は使用できないため、他の内標準元素の選定が必要となる。希土類元素以外の例では、内標準法を適用して銀を定量する場合、塩化銀による沈殿が生じるため、塩酸を用いて調製した内標準溶液は使用できない。この場合、硝酸を用いて内標準溶液を調製するか、強度法を適用して定量する必要がある。このように含有元素、使用する酸、内標準溶液の

選択など十分に注意を払って分析することが重要である。

6 ICP-OES 以外の分析方法について

ICP-MS 及び GD-MS は、金属試料の組成分析の JIS に規定されていないが、金属材料中の元素分析に適用することができる。ICP-MS は、ICP-OES と同様に誘導結合プラズマを利用した分析方法であり、金属材料を溶液化することによって ICP-OES で検出できる元素濃度よりも低い濃度の定量が可能である。GD-MS は分析面の研磨が必要であるが、ICP-OES や ICP-MS で必要とされる湿式の前処理無しで主成分から微量元素の定量に用いることができる。しかしながら、分析結果の精度を高めるためには ICP-OES などの化学分析によって、元素含有率を求めた標準物質が必要である。以下にそれぞれの特徴及び前処理方法について述べる。

ICP-MS は ICP-OES よりも高感度であり、さらに低濃度の元素濃度を定量可能である。ICP-MS の質量分離部は、主に四重極型と二重収束型が採用されており、それぞれに利点、欠点がある。そのため、金属分析においては質量分離部に合わせた前処理が必要となる。

四重極型の利点は、分析速度が二重収束型よりも早く、比較的マトリックスが濃い溶液の測定が可能である。また、欠点は、質量分解能が二重収束型よりも劣るため、スペクトル干渉を受けやすい。例えば、鉄鋼中の

微量のアルミニウムを測定したい場合、 $^{54}\text{Fe}^{2+}$ イオン ($m/z=26.970$) と $^{27}\text{Al}^+$ ($m/z=26.982$) が干渉するため、Al の定量は困難である。このようなマトリックス由来のスペクトル干渉を除去するためには、後述する溶媒抽出法やイオン交換分離法の適用が必須となる。マトリックス由来のスペクトル干渉以外にも雰囲気や溶媒から多原子イオンのスペクトル干渉がある。多原子イオンのスペクトル干渉の代表例として、 $^{56}\text{Fe}^+$ イオン ($m/z=55.934$) と O とアルゴンプラズマ中 Ar の多原子イオンである $^{40}\text{Ar}^{16}\text{O}^+$ ($m/z=55.957$) の干渉がある。このようなスペクトル干渉は二重収束型では、ピーク分離が可能であるが、四重極型ではスペクトル干渉のある元素の定量は困難である。ただし、トリプル四重極型のような二つの四重極の間に衝突室を備えた質量分離部であれば、He ガスのようなコリジョンガスの導入によって、このような多原子イオンのスペクトル干渉を除去できる可能性がある。

二重収束型の利点は、四重極型よりも質量分解能が高く高感度であるため、前述のような目的元素と多原子イオンのスペクトルを分離することができる。一方、二重収束型の欠点は、特に多元素測定の場合に、四重極型よりも一般的に測定時間が長くなることである。また、高感度であるがゆえに、高マトリックス溶液を測定した場合、そのマトリックス元素がいつまでもメモリーとして検出され続け、装置メーカーによるメンテナンスが必要となることもある。

このようにスペクトル干渉を除去し低濃度の元素を精度よく測定するために、試料溶液化後のマトリックス除去が求められる。マトリックス除去の方法は例えば、溶媒抽出法とイオン交換分離法がある。溶媒抽出法の例としては、高純度鉄中の微量元素定量における溶媒抽出が挙げられる。この方法では試料を塩酸で溶解し、塩酸濃度を 6 mol/L に調整した後、4-メチル 2-ペンタノンで溶媒抽出を行うことによって塩酸溶液中からマトリックスの Fe を除去することができる⁵⁾。イオン交換分離法の例としては、陰イオン交換樹脂を用いた高純度鉄からのほう素、モリブデン、ニオブ、スズ、タンタル、タングステン及びジルコニウムの分離が挙げられる。2 M フッ化水素酸中の鉄 (III) は陰イオン交換樹脂にほとんど吸着されないが、ほう素 (III)、モリブデン (VI)、ニオブ (V)、スズ (IV)、タンタル (V)、タングステン (VI) 及びジルコニウム (IV) はフルオロ錯体として陰イオン交換樹脂に吸着されるので、マトリックスの鉄 (III) から容易に分離でき、2 M また 8 M 硝酸+0.1 M 過酸化水素で陰イオン交換樹脂から容易に溶離できる⁶⁾。溶媒抽出及びイオン交換分離によっても、溶媒由来の多原子イオンのスペクトル干渉は除去できないため、最終的な試料溶液の添加酸は極力、硝酸を用いる方が良い。

GD-MS は主成分から微量元素までの測定が可能であり、直径 20 mmφ、厚さ 5~10 mm 程度のディスク状の試料、あるいは直径 2~3 mm 角程度のピン試料の測定が可能である。これよりも小さな試料の場合は、融解した高純度ガリウムやインジウムに試料を埋め込み、冷却して固化することによって、測定できる場合もある。イオン源部に直流グロー方式を用いる場合、試料は導電性を有することが求められる。しかしながら、タンタル製のダミー陰極を用いることによって、Ta に起因する多原子イオンの干渉を受けるという制限はあるがチタン酸ストロンチウムなどの絶縁体も測定可能である。通常、鉄ベースの合金を用いた相対感度係数 (RSF) が測定に用いられるが、より正確性の高い分析結果を得るためには分析試料と類似した標準物質を予め測定し、RSF を決めておく必要がある。標準物質が用意できない場合、自作した試料について ICP-OES 等で、値決めと GD-MS 測定を行って RSF を決定し、次回以降の決定した RSF を用いて GD-MS で測定するという手法もある。このように GD-MS は一度、RSF を決定すれば同系の合金試料を精度よく分析できるため、同系多種の難分解性試料を測定するのに適している。

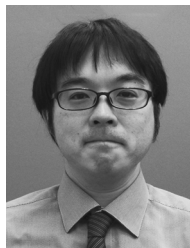
7 おわりに

鉄鋼及び非鉄金属材料の ICP-OES の前処理法について紹介した。これらの前処理法は、鋼種が似たようなものであれば新規材料でも適用できると考えられる。それでも分析の精度は認証標準物質の並行分析もしくは添加回収試験によって前処理法及び測定法の妥当性を確認する必要がある。また、実際に試料を前処理して得られた溶液に対して ICP-OES を行った場合に、マトリックスマッチング検量線であっても装置の分解能不足によって、分光干渉を補正できず正しく定量できない場合もある。その場合は、高分解能装置を用いて測定を行うか、ICP-MS と同様にマトリックスのイオン交換分離、溶媒抽出等の分離法が必要となる。マトリックス分離についてはイオン交換や溶媒抽出を伴う AAS の方法が参考になることもあるため、ICP-OES を適用する場合でも AAS の JIS も一読しておくことよい。このように JIS を前処理法開発のヒントとし、得られた溶液を ICP-OES によって含有元素の定量を行えば、少量サンプルにおいても迅速な分析が可能となる。このようにして確立した新規分析法は、標準化を通じて幅広く使ってもらうことによって、更なる分析法の開発に貢献することが期待される。

文 献

- 1) JIS G 1238-0、鉄及び鋼—ICP 発光分光分析方法— 第 0 部：一般事項。
- 2) 日本規格協会編：“JIS ハンドブック 2019 金属分析 II”

- (2020), (日本規格協会).
- 3) JIS H 1402, タングステン粉及びタングステンカーバイド粉分析方法, (2001).
 - 4) JIS H 1403, タングステン材料の分析方法, (2001).
 - 5) 鉄鋼協会 評価・分析・解析部会：“続 入門鉄鋼分析技術”, p41, (2006).
 - 6) 鉄鋼協会 評価・分析・解析部会：“入門鉄鋼分析技術”, p9, (2001).



岩撫暁生 (Akio IWANADE)

物質・材料研究機構技術開発・共用部門材料分析ステーション化学分析・X線回折グループ (〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1)。千葉大学大学院自然科学研究科物質高次科学専攻。博士 (工学)。《現在の研究テーマ》ICP-OES による金属材料中の組成分析, 金属材料中のガス形成成分の分析。《趣味》離乳食作り。

E-mail : IWANADE.Akio@nim.go.jp

新刊紹介

現代化学・増刊 46 相分離生物学の全貌

白木賢太郎 編

近年, 細胞内にある様々な種類のタンパク質が“液-液相分離”した集合物として機能していることが明らかになってきた。例えば, 転写や翻訳, シグナル伝達などの生命現象の中心的な機能のほか, 環境ストレス応答, オートファジー, 解糖系での酵素反応, ALS 等の神経変異疾患の原因, 光合成の仕組みなど, 多岐に及ぶ現象が細胞内での液-液相分離と関係して

いるという。相分離生物学は, 分子と細胞とのギャップをつなぐものとして分子の集合状態に着目し, それによって生命現象を理解し直す新たな見方 (本書では“相分離メガネ”と呼んでいる) を与えるものであり, 生命科学の新しい学問体系である。

本書は, “相分離”をキーワードにして理学・工学・農学・薬学・医学など多様な領域の研究者 110 名によって執筆された解説書であり, 文字通りこの新しい分野の全貌を紹介している。本書の構成は, 第 I 部「刷新される既存の見方」, 第 II 部「相分離メガネのかけ方」, 第 III 部「一対一から多対多へ」, 第 IV 部「生物学的相分離の理論」, 第 V 部「相分離テクノロジー」, 第 VI 部「相分離生物学の計測技術へ」の 6 章より成る。特に, 最終章の計測技術にかなりの頁数が割かれており, 分析化学者の興味を惹く内容となっている。

(ISBN 978-4-8079-1346-6・B5 判・402 ページ・6,800 円+税・2020 年刊・東京化学同人)