

# 金属中の酸素・窒素分析方法の検討

沢本 拓也<sup>\*1</sup> 大沢 芳行<sup>\*2</sup>  
Sawamoto Takuya Osawa Yoshiyuki

金属中の酸素、窒素等のガス成分は材料特性に大きな影響を与えることから、それらの含有量の低減が図られ、製品における正確で精度の高いガス分析が求められている。また、最近では非鉄合金の需要が増えており、非鉄合金中のガス成分の分析要求も増加している。

高精度分析や多様な合金のガス分析に対応するため、酸素窒素分析装置を導入し、分析時の助燃材の必要性、溶融温度等の分析方法を検討した。その結果、合金の種類や形状による分析条件を明らかにできたので、その一端を紹介する。

キーワード：合金、酸素、窒素、助燃材、溶融温度、多相合金

## 1. はじめに

鉄鋼中の酸素、窒素、水素等のガス成分は鉄鋼のじん性を低下させ、凝固過程での気泡、熱処理における白点（鋼材の破面に現れる白色の光沢をもった斑点）、毛割れ（腐食によって、断面に細く毛状に現れるキズ）の原因となる。特に酸素、窒素は固溶硬化のほか、焼入れ時効、ひずみ時効の原因となり、固溶限度以上になると酸化物、窒化物あるいは複雑な化合物として析出する。近年の精錬技術の発達により、鉄鋼の生産現場においては、酸素、窒素を数十から数  $\mu\text{g/g}$  レベルの微量域まで低減することが可能となり、これらの元素含有量の計画値と製品の差異を確認するために、元素分析に対する精度、正確さの要求が厳しくなっている。

また、最近では軽量、耐熱性を特徴とし、次世

代の構造用材料として用途開発が積極的に進められているチタン-アルミニウム合金（Ti-Al 合金）や内部応力が小さく柔軟性に富むことからメッキやはんだに使用されているニッケル-パラジウム合金（Ni-Pd 合金）など、非鉄合金中のガス分析の要求も増加している。

当社では微量域の高精度分析の必要性や多様な合金のガス分析に対応するため、平成 25 年度に酸素窒素分析装置（EMGA-620W、堀場製作所製：写真 1）を導入した。

本装置では溶融温度を細かく設定できるので、合金の種類に応じた適切な分析条件プログラムを作成できる。金属中の酸素、窒素を正確に分析するために、助燃材の必要性、溶融温度および鋼材試料の形状等を検討したので、その結果の概要を紹介する。

\*1：計測事業部 化学環境部

\*2：計測事業部 化学環境部 課長



写真1 酸素窒素分析装置（EMGA-620W、堀場製作所製）と黒鉛ルツボ

## 2. 測定原理

分析法の概要を図1に示す。

分析原理は、黒鉛ルツボ（写真1）に電流を流した際に発生するジュール熱を金属溶融に利用して、金属中の酸素と窒素を分析する。具体的には不活性ガス雰囲気（本装置ではヘリウム：Heを使用）で黒鉛ルツボのみを加熱し、黒鉛ルツボに吸着している酸素・窒素を脱ガス後、黒鉛ルツボ上部にある試料投入口から、試料を黒鉛ルツボ内に落として、分析対象合金が溶融する温度まで加熱する。金属中の酸素は黒鉛（C）と反応して一酸化炭素（CO）に、金属中の窒素と水素はそれぞれ $N_2$ 、 $H_2$ となり気化する。COは赤外線吸収法が活性であるため、赤外線吸収法で検出する。一方、 $N_2$ は等角二原子分子で双極子モーメントを持たず、赤外線吸収法では検出できないため、熱伝導度法で検出する。熱伝導度検出器には選択性がないため、溶融過程で発生するCO、 $N_2$ 、 $H_2$ からCOと $H_2$ を除いて、 $N_2$ のみを熱伝導度検出器に送る。具体的には、酸化装置でCOと $H_2$ をそれぞれ $CO_2$ と $H_2O$ に変換し、 $CO_2$ 吸収材（水酸化ナトリウム）と脱水剤（過塩素酸マグネシウム）で除去した後、熱伝導度検出器で $N_2$ を検出する。

本装置では酸素、窒素ガス検出強度をリアルタイムでグラフ化し、そのプロットの形状により試料

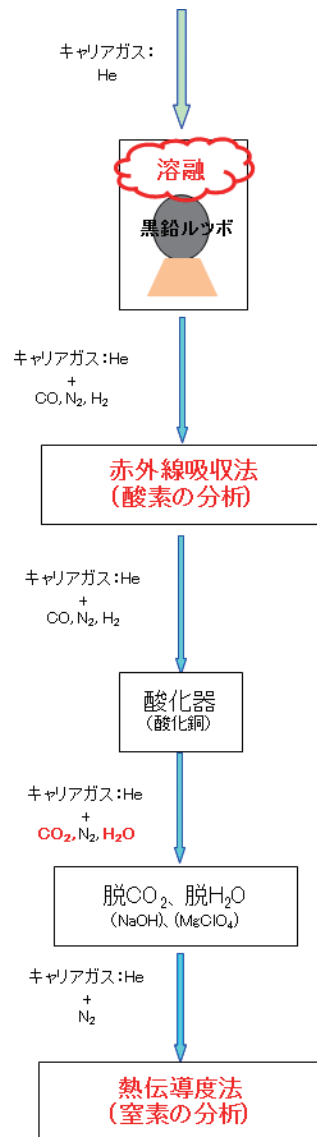


図1 分析方法の概略図

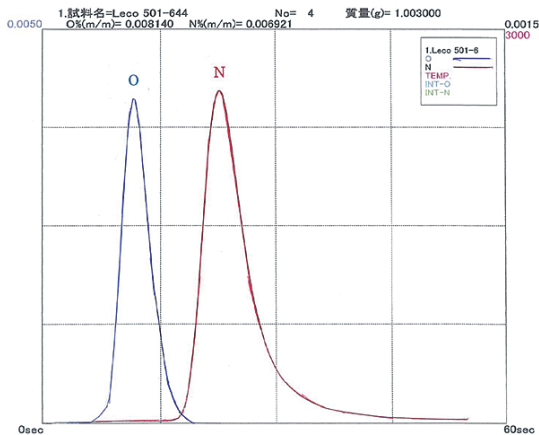


図2 酸素、窒素ガス溶出ピーク

が完全に溶融しているかを確認できる。正常であれば1本で鋭いピーク形状である(図2)。融点の高い試料や、難溶融性の窒化物を形成している試料では、ピーク形状が正常であることを確認する必要がある。つまり、ピークが2つ以上現れたり、形状が鋭くなく幅が広い場合は、加熱温度が低く、溶融が不十分であるため、条件の再検討が必要となる。

### 3. 装置の主要な仕様

新たに導入した酸素窒素分析装置の主要な仕様を表1に示す。

表1 酸素窒素分析装置の主要な仕様

名称(製品名)	酸素・窒素分析装置
型式と測定成分	EMGA-620W, 酸素/窒素
測定方法	不活性ガス中インパルス炉加熱融解 酸素: 赤外吸収法 窒素: 熱伝導度法
測定範囲	酸素: 0 ~ 0.1% (m/m) 窒素: 0 ~ 0.5% (m/m) ※試料重量を標準質量(1.0 g)より減らすことにより測定範囲は拡大できる。
感度(最少読取)	酸素・窒素共 0.000001% (m/m)
精度(再現性)	酸素・窒素共 試料濃度: 0.0020% (m/m)未満 $\sigma_{n-1} \leq 0.0001\%$ (m/m) 試料濃度: 0.0020% (m/m)以上 $\sigma_{n-1} \leq 0.00015\%$ (m/m)
溶出炉	インパルス炉 0 ~ 8 kW 設定可 冷却方式: 内部循環方式
ガス	ヘリウム(キャリアガス) 純度: 99.995%以上 供給圧力: 0.35 MPa 乾燥空気または窒素(オペレーションガス) 供給圧力: 0.45 MPa

### 4. 合金の種類による分析条件の検討

あらゆる合金に共通して適応できる分析条件はなく、合金の種類によって最適化する必要がある。例えば、チタン(Ti)合金は酸化物の還元温度が高く、炭素鋼と同条件では酸素の抽出が不十分となる。抽出を促進するには溶融温度を上げるほかに助燃材の使用がある。助燃材は白金、ニッケル等の金属で、分析対象の金属と合金を形成することにより融点の低下を促し、また合金中のOと黒鉛ルツボのCの反応を促進させる効果がある。

本装置において各種合金に応じた適切な溶融温度、助燃材の必要性を検討した。溶融温度の検討では各種合金の融点以上、沸点未満となるよう、3つの溶融温度を設定した。助燃材の検討では、合金中のOと黒鉛ルツボのCの反応を促進させる効果が高く、また酸素、窒素の含有量が低いニッケル(Ni)を選定し<sup>(1)</sup>、Ni添加による分析結果への影響を検討した。検討用の試料には入手可能であった鉄(Fe)合金、銅(Cu)合金、Ni合金およびTi合金の4種の市販標準試料を用いた。分析条件の妥当性は溶融温度と助燃材の有無を変化させた際の分析結果(n=3)の平均値の正確度および相対標準

偏差 RSD (%) (バラツキ) を標準試料の成績書に記載された認証値と比較することにより評価した。

#### 4.1 Fe 合金

分析条件を表 2、結果を表 3 に示す。表 3 より、溶融温度 1880℃ (4kW) もしくは 2260℃ (5kW) での分析結果の平均値は認証値範囲内 (O:76 ~ 88ppm, N:67 ~ 73ppm) であり、RSD は認証値 (O:7.32%, N:4.29%) と比較して良好であった。

助燃材として Ni を添加しない方が分析結果の RSD は小さいが、Ni カプセルを使用する際には、2260℃ (5kW) で分析することが必要である。

#### 4.2 Cu 合金

分析条件を表 4、結果を表 5 に示す。助燃材として Ni を添加しない条件では、どの温度条件においても、分析結果の平均値は認証値範囲内 (O:533 ~ 549ppm) であり、RSD は認証値 (O:1.48%) と比較して良好であった。

助燃材として Ni を添加すると認証値の許容範囲を下回った。RSD は良好であるため、Ni カプセルを使用する際には、Ni を添加した条件で校正を行い、分析することが必要である。

表 2 Fe 合金の分析条件

合金の種類	融点 (Fe) (°C)	沸点 (Fe) (°C)	条 件				標準試料
			溶 融 条 件			助 燃 材	
Fe	1500	2750	1880°C (4kW)	2260°C (5kW)	2600°C (6kW)	なし あり	Leco 501-644 (O: 82 ± 6 ppm, N: 70 ± 3 ppm)

表 3 Fe 合金の分析結果

試料名・認証値	条件	O ppm	N ppm	O		N	
				正 確 度	RSD	正 確 度	RSD
Leco 501-644 O: 82 ± 6 ppm (7.32) N: 70 ± 3 ppm (4.29)  ( )内はRSD値 (%)	1880°C	79.63	69.92				
		81.40	69.21				
		79.98	70.39	○	○	○	○
	平均	<b>80.34</b>	<b>69.84</b>				
	RSD (%)	<b>1.17</b>	<b>0.85</b>				
	2260°C	81.73	68.27				
		78.32	68.81				
		82.83	70.99	○	○	○	○
	平均	<b>80.96</b>	<b>69.36</b>				
	RSD (%)	<b>2.90</b>	<b>2.08</b>				
	2600°C	84.46	70.07				
		72.54	66.29				
		72.97	67.00	○	×	○	○
	平均	<b>76.66</b>	<b>67.79</b>				
	RSD (%)	<b>8.82</b>	<b>2.96</b>				
	1880°C + Ni	77.97	66.53				
		86.17	73.04				
		77.33	69.69	○	○	○	×
	平均	<b>80.49</b>	<b>69.75</b>				
	RSD (%)	<b>6.12</b>	<b>4.67</b>				
2260°C + Ni	80.74	70.18					
	82.96	73.02					
	76.30	74.41	○	○	○	○	
平均	<b>80.00</b>	<b>72.54</b>					
RSD (%)	<b>4.24</b>	<b>2.97</b>					
2600°C + Ni	85.09	66.65					
	85.93	68.08					
	90.81	70.24	○	○	○	○	
平均	<b>87.28</b>	<b>68.32</b>					
RSD (%)	<b>3.54</b>	<b>2.65</b>					

※正確度 ○: 認証値範囲内 △: 認証値範囲差±5% ×: 認証値範囲外  
RSD ○: 認証値より優 △: 認証値+5%未満 ×: 認証値+5%以上

表4 Cu合金の分析条件

合金の種類	融点 (Cu) (°C)	沸点 (Cu) (°C)	条件			標準試料
			溶融条件		助燃材	
Cu	1083	2570	1470°C	1880°C	2260°C	Leco 501-149 (O: 541 ± 8 ppm)
			(3kW)	(4kW)	(5kW)	

表5 Cu合金の分析結果

試料名・認証値	条件	O ppm	正確度	RSD
Leco 501-149 O: 541 ± 8 ppm (1.48) ( )内はRSD値 (%)	1470°C	541.0		
		539.8		
		537.4	○	○
	平均	539.4		
	RSD (%)	0.34		
	1880°C	539.5		
		541.9		
		538.8	○	○
	平均	540.1		
	RSD (%)	0.31		
	2260°C	536.7		
		533.8		
		535.3	○	○
	平均	535.3		
	RSD (%)	0.27		
	1470°C+Ni	523.8		
		516.9		
		532.8	△	△
	平均	524.5		
	RSD (%)	1.52		
	1880°C+Ni	530.1		
		528.3		
		530.9	△	○
	平均	529.8		
RSD (%)	0.24			
2260°C+Ni	526.3			
	530.3			
	528.6	△	○	
平均	528.4			
RSD (%)	0.38			

※正確度 ○: 認証値範囲内 △: 認証値範囲差±5% ×: 認証値範囲外  
RSD ○: 認証値より優 △: 認証値+5%未満 ×: 認証値+5%以上

### 4.3 Ni合金

分析条件を表6、結果を表7に示す。Ni合金中の酸素濃度は2.0ppmと微量であったが、各温度条件ともに問題なく分析でき、分析結果の平均値は認証値範囲内(1.6~2.4ppm)であった。RSDを比較すると、溶融温度2260°C(5kW)は認証値(20.0%)と比較して大きかった(27.0%)。一方、1470°C(3kW)ではRSD(3.88%)は小さかったが、

酸素ガス抽出曲線が2つ現れた。

2つの曲線が現れたのは、2章でも述べたが、溶融温度が低かったことにより、溶融開始時にNi溶融が不十分であったためと推測される。このことから、1880°C(4kW)が適切な温度条件であると考えられる。

なお、数ppmと微量な酸素濃度の場合、計測値に多少バラツキが生じる傾向があるため、Ni合金は3回以上の測定が必要である。

表 6 Ni 合金の分析条件

合金の種類	融点 (Ni) (°C)	沸点 (Ni) (°C)	条 件			標準試料	
			溶 融 条 件		助 燃 材		
Ni	1453	2910	1470°C (3kW)	1880°C (4kW)	2260°C (5kW)	なし	Leco 502-411 (O: 2.0 ± 0.4 ppm)

表 7 Ni 合金の分析結果

試料名・認証値	条件	O ppm	正 確 度	RSD
Leco 502-411 O: 2.0 ± 0.4 ppm (20.0) ( )内はRSD値 (%)	1470°C	2.12		
		2.08		
		2.24	○	○
	平均	2.15		
	RSD (%)	3.88		
	1880°C	2.10		
		2.19		
		1.82	○	○
	平均	2.04		
	RSD (%)	9.5		
	2260°C	1.30		
		2.15		
2.21		○	×	
平均	1.89			
RSD (%)	27.0			

※正確度 ○: 認証値範囲内 △: 認証値範囲差±5% ×: 認証値範囲外  
RSD ○: 認証値より優 △: 認証値+5%未満 ×: 認証値+5%以上

#### 4.4 Ti 合金

分析条件を表8、結果を表9に示す。Niを添加し、2600°C (6kW) まで昇温すると認証値範囲内 (1870 ~ 1990ppm) の分析値が得られ、RSDも認証値 (3.11%) よりも良好であった。1880°C (4kW) および 2260°C (5kW) では、良好な結果は得られなかった。助燃材の使用は、前述したように分析対象の金属と合金を形成することにより融点の低下を促すので、溶融温度が不足したものと考えられる。

助燃材のNiを添加しない場合の分析も併せて実施したところ、溶融温度を上昇させても認証値範囲内の分析値は得られなかった。分析後の黒鉛ルツボを確認すると、試料は溶解していたため、酸素ガスは発生しているものと思われる。Cとの反応を活性化させるNiが存在しなかったため、良好にCOガスが発生しなかったと考えられる。

窒素の分析結果は、どの条件でもガスの発生が十分ではなく、認証値範囲内の分析値は得られな

かった。これは、Ti合金中の窒素は難溶融性の窒化チタン (融点約3000°C) を形成している場合があり、2600°Cの条件では、溶融しきれていないためであると考えられる。そのため、溶融温度を3000°Cまで上昇させて分析を試みたが、黒鉛ルツボが熱負荷に耐えられず、測定することができなかった。そこで、黒鉛ルツボが耐えられる2600°Cを溶融温度の上限とし、Niの添加量を2倍 (試料重量の10倍)、3倍 (試料重量の15倍) で測定を試みた。分析結果を表10に示す。

Ti合金中の窒素は試料重量に対して、10倍以上のNiを添加すれば、良好にガスが発生し、認証値範囲内 (N:330 ~ 390ppm) の分析値が得られ、RSDも認証値 (8.33%) よりも良好であった。試料重量の15倍のNiを添加した時が、最も認証値に近い値であったため、Ti合金中の窒素分析時には温度: 2600°C、Ni添加量: 試料重量の15倍で分析することが必要であることがわかった。



表 8 Ti 合金の分析条件

合金の種類	融点 (Ti) (°C)	沸点 (Ti) (°C)	条 件			標準試料
			溶 融 条 件		助 燃 材	
Ti	1660	3290	1880°C (4kW)	2260°C (5kW)	2600°C (6kW)	Leco 501-320 (O: 1930 ± 60ppm N: 360 ± 30ppm)
						なし
						あり

表 9 Ti 合金の分析結果

試料名・認証値	条件	O ppm	N ppm	O		N	
				正 確 度	RSD	正 確 度	RSD
Leco 501-320 O: 1930 ± 60 ppm (3.11) N: 360 ± 30 ppm (8.33) ( )内はRSD値 (%)	1880°C	36.58	5.654				
		-	-				
		-	-	×	-	×	-
	平均	<b>36.58</b>	<b>5.654</b>				
	RSD (%)	-	-				
	2260°C	44.63	5.550				
		-	-				
		-	-	×	-	×	-
	平均	<b>44.63</b>	<b>5.550</b>				
	RSD (%)	-	-				
	2600°C	53.72	6.180				
		-	-				
		-	-	×	-	×	-
	平均	<b>53.72</b>	<b>6.180</b>				
	RSD (%)	-	-				
	1880°C + Ni	1648.7	296.9				
		1796.5	281.7				
		1836.8	274.7	×	×	×	○
平均	<b>1760.7</b>	<b>284.4</b>					
RSD (%)	<b>5.63</b>	<b>3.99</b>					
2260°C + Ni	1831.5	314.5					
	1837.9	325.4					
	1911.8	335.3	△	○	△	○	
平均	<b>1860.4</b>	<b>325.1</b>					
RSD (%)	<b>2.40</b>	<b>3.20</b>					
2600°C + Ni	1885.9	316.3					
	1921.9	324.9					
	1978.5	319.5	○	○	△	○	
平均	<b>1928.8</b>	<b>320.3</b>					
RSD (%)	<b>2.42</b>	<b>1.35</b>					

※正 確 度 ○: 認証値範囲内 △: 認証値範囲差±5% ×: 認証値範囲外  
RSD ○: 認証値より優 △: 認証値+5%未満 ×: 認証値+5%以上

表 10 Ti 合金の Ni 添加量による分析条件の検討

試料名・認証値	条件	O ppm	N ppm	O		N	
				正 確 度	RSD	正 確 度	RSD
Leco 501-320 O: 1930 ± 60 ppm (3.11) N: 360 ± 30 ppm (8.33) ( )内はRSD値 (%)	2600°C + Ni × 2 (試料重量の10倍)	1905.9	327.3				
		1901.9	354.9				
		1998.5	329.5	○	○	○	○
	平均	<b>1935.4</b>	<b>337.3</b>				
	RSD (%)	<b>2.82</b>	<b>4.54</b>				
	2600°C + Ni × 3 (試料重量の15倍)	1926.2	390.5				
1881.1		379.4					
1856.3		355.6	○	○	○	○	
平均	<b>1887.9</b>	<b>375.2</b>					
RSD (%)	<b>1.88</b>	<b>4.75</b>					

※正 確 度 ○: 認証値範囲内 △: 認証値範囲差±5% ×: 認証値範囲外  
RSD ○: 認証値より優 △: 認証値+5%未満 ×: 認証値+5%以上

## 5. 合金の種類による精度確認

4章で得られた分析条件を表11に示す。この条件を用いて各種合金を繰り返し10回測定し精度を確認した。分析条件を表12、結果を表13に示す。

各種合金共に、分析値は認証値とほぼ近い値が得られ、RSDは認証値よりも優れた結果が得られた。

以上から、合金の種類ごとに定めた分析条件は適切であることが示された。しかし、使用した標

準試料は単一基に他元素が微量しか含有しない標準試料であり、3相合金 (Ti-6Al-4V)、5相合金 (Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo) 等の多相合金もある。そのため、多相合金を分析する際に、基となる金属の適切な分析条件で分析しても、共存している金属次第では、熔融やガス発生が不十分となる可能性もある。そのため、リアルタイムでグラフ化されたピーク形状で熔融状態を確認し、必要に応じて分析条件を検討し、対応していくことが求められる。

表11 合金の種類による適切な分析条件

合金の種類	試料形状	熔融条件	助燃材
Fe	塊	1880°C or 2260°C	なし
	粉	2260°C	Niカプセル×1
Cu	塊	1470°C or 1880°C or 2260°C	なし
	粉	1880°C or 2260°C	Niカプセル×1
Ni	塊	1880°C	なし
	粉	1880°C	Niカプセル×1
Ti	塊	2600°C	Niペレット×3 (酸素のみ分析は1個が良い)
	粉	2600°C	Niカプセル×1 + Niペレット×2 (酸素のみ分析はNiカプセル×1)

表12 精度確認で用いた分析条件

合金の種類	熔融条件	助燃材	標準試料
Fe	2260°C (5kW)	なし	Leco 501-644 (O: 82 ± 6 ppm, N: 70 ± 3 ppm)
Cu	1880°C (4kW)	なし	Leco 501-149 (O: 541 ± 8 ppm)
Ni	1880°C (4kW)	なし	Leco 502-411 (O: 2.0 ± 0.4 ppm)
Ti	2600°C (6kW)	Niペレット×3	Leco 501-320 (O: 1930 ± 60ppm N: 360 ± 30ppm)

表13 合金の種類による精度確認結果

	Fe合金		Cu合金	Ni合金	Ti合金	
	O ppm	N ppm	O ppm	O ppm	O ppm	N ppm
	83.44	71.40	540.0	1.72	1954.3	365.0
	87.38	70.03	533.6	1.93	1948.0	339.1
	82.78	69.80	541.0	1.63	1959.8	366.8
	84.36	68.53	541.9	2.10	1924.9	346.6
	81.21	68.29	534.8	1.74	1790.6	349.9
	82.14	72.00	537.7	2.31	1958.6	355.1
	85.89	68.63	538.6	1.98	1956.2	367.5
	83.41	69.03	539.5	2.13	1950.4	386.6
	83.77	68.59	542.0	2.36	1919.2	365.8
	83.70	68.31	541.1	1.95	1902.0	345.0
分析値平均	83.81	69.46	539.0	1.99	1926.4	358.7
分析値RSD (%)	2.12	1.91	0.54	12.4	2.68	3.96
標準試料認証値	82 ± 6	70 ± 3	541 ± 8	2.0 ± 0.4	1930 ± 60	360 ± 30
認証値RSD (%)	7.32	4.29	1.48	20.0	3.11	8.33



## 6. 切粉状、粉状試料の酸素分析の検討

2章で述べたように、通常は黒鉛ルツボの上部にある試料投入口から、試料を黒鉛ルツボに落として、加熱・分析を行う（通常モード）。そのため、試料投入口内に引っかかりやすい切粉状試料や、投入時に浮力が大きく落下に時間がかかる粉状試料は、この方法では分析に失敗する。そのため、従来は切粉状、粉状試料中の酸素を分析するには、Ni カプセルに封入し、通常モードで分析を行ってきた。しかし、Ni カプセルは安価ではない上、封入できる試料量が少なく、封入するための試料加工の手間等、問題点も多い。

本装置には通常モードの他に POWDER モードが存在する。これは、溶融炉内で脱ガスした黒鉛ルツボを、溶融炉から大気中に戻し、その黒鉛ルツボに直接試料を投入し、再び加熱・分析する方法である。しかし、この方法は切粉状、粉状試料の窒素分析用のものであり、酸素は分析することができない。その理由は、脱ガスのために強熱され、活性化された黒鉛ルツボが大気中の酸素を取り込んでしまい、試料を入れないで測定した空測定（以下 Blank）でも酸素が検出されてしまうからである。

そこで、POWDER モードを使用した際の大気中への開放時間を一定にすれば、黒鉛ルツボが取り込む酸素量も一定となり、酸素の定量分析が可能となるのではないかと考え、試験を試みた。大気開放時間を 10 秒、20 秒、30 秒に設定し、Blank 値を 3 回測定した。結果を表 14 に示す。

表 14 より大気開放時間を一定にすれば、酸素取込量の RSD も少なく、精度良く分析できることが示唆された。しかしながら、10 秒間の大気開放でも 100 $\mu$ g の酸素を取り込んでしまうため、低濃度の試料を分析する際は Ni カプセルで分析することが必要である。

表 14 大気開放時間と酸素取込量の関係

	大気解放時間 (秒)		
	10	20	30
酸素取込量 ( $\mu$ g)	105	131	144
	98	126	145
	103	128	149
分析値平均	102	128	146
分析値RSD	3.52	2.00	1.67

## 7. まとめ

各種合金に応じて設定した分析条件は、繰り返しの分析精度も良好であり、適切であることが確認できた。多相合金に関しては、必要に応じて分析条件を検討し、対応していく。

切粉状、粉状試料の酸素分析は大気開放時間を一定にすれば、POWDER モードで精度良く分析できることが示唆された。ただし、低濃度の試料に関しては Ni カプセルに封入し、通常モードで分析することが必要であることがわかった。

## 参考文献

- (1) 柘植明、上叢義則、石塚紀夫、渡利広司：不活性ガス融解法による酸化物系セラミックス中酸素の定量、日本セラミックス協会、101[6]、PP.713-716、(1993)



計測事業部  
化学環境部  
沢本 拓也

TEL. 045-791-3516  
FAX. 045-791-3541



計測事業部  
化学環境部  
課長  
大沢 芳行

TEL. 045-791-3516  
FAX. 045-791-3541