

金属部門の技術士資格を持つ 零細企業の社長の取り組み



新和実業株式会社；代表取締役 橋本 英樹

1. 企業経営者と技術士

私は零細の工業炉メーカーを経営している金属部門の技術士である。社長としては二代目で、就任から今年で11年となる。技術士資格は社長就任の9年前に取得した。

技術業の企業経営者には、専門的知識、問題解決能力、マネジメント能力、評価能力、コミュニケーション能力が求められる。これは、2014年に文部科学省から示された技術士に求められるコンピテンシー(資質能力)と重なる部分がある。

私は2002年から約2年半をかけて、技術士資格の取得に取り組んだ。このとき、学生時代の恩師である宮崎亨先生(名古屋工業大学名誉教授)から卒業の際にいただいた「これからは自分のための勉強を続けなさい」という言葉が筆者の資格取得に向けての駆動力となった。受験に向けては、学生時代に使った全ての教科書の内容を改めて頭に叩き込んだ。

また、金属便覧^①の内容も丁寧に読み込んだ。これら一連の取り組みは、その後の企業経営者として求められる技術力と自らの自信の向上に大きく繋がった。そして、この取り組みの過程でブラッシュアップされた技術として、雰囲気熱処理炉内の露点計測と炉内の材料の酸化・還元の評価を挙げることができる。

本稿では、これら取り組んだ技術に関し、①その概要と成果、②実務での活用事例、③社会貢献事例、について紹介し、最後に企業経営者が技術士資格を持つ意味について述べる。

2. 露点計測と雰囲気熱処理

水蒸気(H₂O)は大気においてN₂、O₂に次いで3番目に多く含まれる成分であり、且つ最も多く含まれる極性分子である。熱処理雰囲気だけでなく、液体窒素を気化させたガス中にも含まれる。H₂Oはどこにでも存在することに加え、吸着性が高いために除去が困難であることから、金属熱処理や半導体製造プロセスなどに悪影響を及ぼす厄介な存在である。

雰囲気熱処理炉においては、古くから雰囲気の露点計測が行われてきた。これを行う目的は、雰囲気中のH₂Oを定量し、製品の酸化や脱炭などを防ぐことにある。ガス浸炭炉においては、露点計測により鋼の表面炭素量のコントロールも行われた。また、かつて熱処理の現場では、露点カップ(肉

眼判定式露点計)が広く用いられていた。

私は1996年以来、炉内雰囲気の露点計測に取り組んできた。中でも、この頃に登場した鏡面冷却式露点計(自動露点計)が露点カップを代替できることが分かり、それ以来、自動露点計測を会社としての得意分野の一つとすべく注力してきた。

現在では、用途や雰囲気ガスの種類や予算に応じて、鏡面冷却式露点計だけでなく、TDLAS(Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy, 波長可変半導体レーザー)式露点水分計、CRDS(Cavity Ring-Down Spectroscopy, キャビティリングダウン分光法)微量水分計、静電容量式露点変換器など、最適な方式の露点計測機器を客先に提案している。

3. Ellingham 図と露点計測の融合を通じて

(1) 熱処理雰囲気と Ellingham 図

熱処理雰囲気について考えるとき、金属が酸化されるか還元されるか、また、鋼の焼入炉の場合は脱炭が進行するか否かを容易に判断できる方がよい。そのとき、Ellingham 図をツールとして大いに活用できる。これまで、Ellingham 図は金属精錬の現場では広く利用されていても、熱処理の現場で利用されることはほとんど無かった。雰囲気の露点管理は行われてきたが、焼入炉などではCOを含む還元雰囲気が多く利用されてきたことから、熱処理の現場ではEllingham 図を意識する必要が無かったからだ。しかし、低炭素化、脱炭素化の推進のためH₂による還元を利用する場合、露点の計測とEllingham 図の活用による酸化・還元の評価が重要になる。

(2) Ellingham 図と金属部門の技術士第一次試験

昔も今も、教科書にあるEllingham 図の前後の内容を理解することは、学生には難しい。学生時代に一旦苦手意識を持つと、社会に出て技術者として現場に出るようになってからもそれを払拭しにくい。

一方、金属部門の技術士第一次試験では、Ellingham 図に関する五者択一問題が出されることが多い。2023年の試験においても、1問が日本金属学会から刊行されている「講座・現代の金属学 精錬編4 冶金物理化学」^②から出題された。従って、「金属部門の技術士ならばEllingham 図について当然、理解しているはずだ」ということになるが、実際

にはそうでもない。

Ellingham 図や教科書の内容を正しく理解するには、熱処理現場での経験が必要不可欠である。実際、座学を経て試験問題に対応できる程度の知識を持ち合わせながらもこの図に対して苦手意識を持つ技術士は意外に多く、私もその一人であった。

(3) Ellingham 図の学び直し

Ellingham 図に対する苦手意識を払拭すべく、私は改めてその学び直しを思い立った。会社として「炉内雰囲気管理や制御を得意とする」とアピールしたいにも関わらず、Ellingham 図の理解が十分ではないというはお粗末である。そこで私は、学生時代の教科書などを改めて徹底的に読み直した。そして、自身の理解を深めるべく、客先の現場にある N_2+H_2 混合ガスからなる熱処理雰囲気連続焼結炉の炉温と雰囲気の露点、 H_2 分圧から雰囲気の酸素ポテンシャルと Fe の酸化反応の標準自由エネルギーを求めることに先ず取り組んだ。

(4) Sonntag の式との出会い

N_2+H_2 混合ガスからなる熱処理雰囲気が金属を酸化させるか還元させるかを Ellingham 図上で検討するに当たり、雰囲気の水蒸気 (H_2O) 分圧を如何にして求めるのかという問題に直面した。

このとき、私の手元にあった JIS Z 8806:2001 (湿度-測定方法) (3) に記載の Sonntag の式に目が留まった。

Sonntag の式 (JIS Z 8806:2001)

水の蒸気圧 e_w (Pa)

$$\ln(e_w) = -6096.9385T^{-1} + 21.2409642 - 2.711193 \times 10^{-2}T + 1.673952 \times 10^{-5}T^2 + 2.433502 \ln(T)$$

氷の蒸気圧 e_i (Pa)

$$\ln(e_i) = -6024.5282T^{-1} + 29.32707 + 1.0613868 \times 10^{-2}T - 1.3198825 \times 10^{-5}T^2 - 0.49382577 \ln(T)$$

T : 熱力学温度 (K)

この式の T に気温を入力すると水または氷の飽和水蒸気圧を、大気の露点または霜点温度を入力すると大気中の H_2O 分圧を各々求めることができる。

この式は雰囲気の露点温度から H_2O 分圧を求めるもので、1982年にドイツの気象学者 Dieter Sonntag により与えられた。JIS Z 8806:2001にある飽和水蒸気圧表は、この Sonntag の式による。この式の温度 T に炉内雰囲気の露点(または霜点)を入力することで、 H_2O 分圧(単位: Pa)を容易に求めることができる。これは金属工学の教科書には無い情報である。この気づきが大きな一歩をもたらした。

雰囲気の H_2 分圧は、プロトン伝導型固体電解質を使った水素センサなどを利用して計測することができる。流量計を通じて炉内に導入される場合や変成ガスを雰囲気とする場合においても、 H_2 分圧はある程度正確に推定できる。しかし、 H_2O 分圧だけは推定が難しい。そこで、露点と Sonntag の式から H_2O 分圧を求めた。そして、雰囲気の H_2O 分圧、 H_2 分圧および温度から、雰囲気の持つ酸化物の生成自由エネルギーを求めた。

(5) パソコン上で Ellingham 図を作る

ここまで辿り着けば、Ellingham 図をパソコン上で描くことは不可能ではなかった。この Ellingham 図を極力誰にでも容易に利用できるものとするため、Microsoft Excel 上で作成し、計算結果をそこに表示した(図 1, 図 2)。雰囲気の露点と Ellingham 図を直接融合する取り組みは先例が無く、新しい取り組みと言えよう。もちろん、雰囲気の CO 分圧と CO_2 分圧を入力しての計算も可能だ。こうして遂に、鉛筆と定規と消しゴムを使わずに、露点計を活用して描くことができる、カラー表示の Ellingham 図が完成した。

(6) 実務での活用

Excel で作成したこの Ellingham 図を利用すれば、十分な専門的知識を持っていなくても、雰囲気と金属の酸化・還元との関係を直感的に理解できる。そのため、社内での人材育成や客先での熱処理雰囲気が起因する製品の酸化や脱炭などのトラブルへの対応など、実務面で大いに役に立っている。

(7) 社会貢献の一環としての無償配布

Excel によるこの Ellingham 図演算ソフトウェアは私が 2015年に作成し、その後、ミスの修正や使いやすさを改善した上で、2021年は希望者に広く無償で公開した。一人でも多くの技術者や金属材料について学んでいる学生に活用していただくことで、会社として社会への貢献に繋がればと考えてのことである。これからの熱処理雰囲気の低炭素化や脱炭素化に向けた取り組みにおいても、利用が拡がることを期待している。

零細企業である弊社には、社会貢献に費せる潤沢な資金は無い。しかし、経営者である私が技術士であることから、お

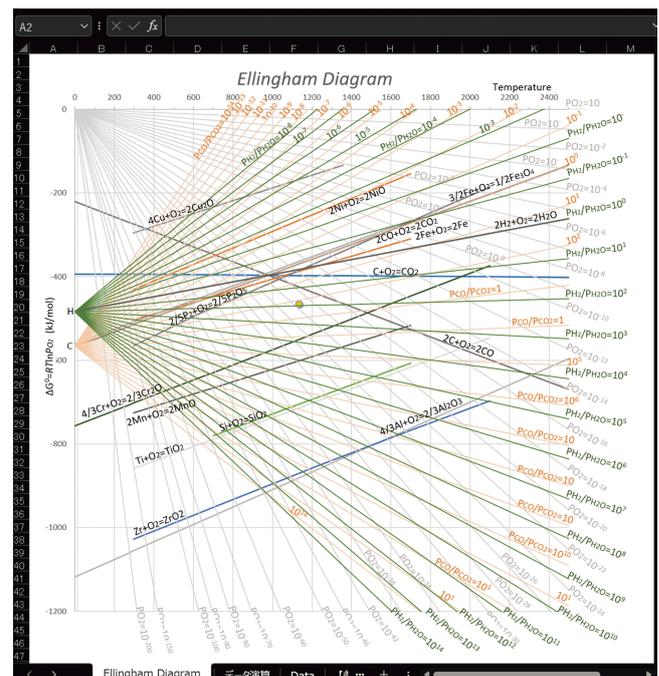


図 1 Microsoft Excel 上で作った Ellingham 図。(オンラインカラー)

