

特別講演

UDC 669.18.046.5

冶金プロセスの理論的基礎*

——ソ連における研究の歴史，科学会議，2，3 の科学的問題**——

Theoretical Bases of Metallurgical Process

N. V. AGEEV***

250 年前に設立された科学アカデミーはその当初からロシアにおける科学の中心およびその発達の中心になってきました。この科学アカデミーは著名なロシア科学者達の属する組織になりましたが、M. V. LOMONOSOV は彼らの間で特殊な地位を占めておりました。M. V. LOMONOSOV の多面にわたる科学的活動のすべてをこの報告の中に紹介することはできませんが、私の報告に関係のある一部分だけを述べることにします。彼の業績の中では、彼の時代の自然科学の多くの部分に関する疑問、さらに冶金および鉱業における疑問が明らかにされています。活動の初期においてすでに物理化学的研究の広範囲なプログラムが彼によつて計画され、その達成によつて物質構造における原子の概念や化学変態が起こっている間の物質保存の法則が展開され、原子の性質、物体の性質およびいろいろな物理現象の間の関係について彼が暗示した仮説が詳細に検討されてきました。彼とその弟子達は物理化学を独立した科学として育成しはじめました。1742 年 LOMONOSOV は冶金および鉱物の分野で研究をはじめ、いろいろな機関や地方から科学アカデミーに送られてくる塩、鉱石その他の鉱物の化学分析を行ないました。1763 年に彼は鉱山で実際に働いている人達のために書いた論文“冶金および採鉱の最初の理論”を公表いたしました。この中で LOMONOSOV は鉱業や冶金に利用されている方法の理論を記述しております。同時に彼は利用されている工学的な方法の物理的基礎および化学的基礎を発見しようと試みております。彼は多くの新しいオリジナルな示唆を提案いたしました。LOMONOSOV は、国の独立およびその経済的発展の基礎としてロシアにおける金属生産の組織に大きな注意を払つてきました。さらに LOMONOSOV は、科学は国が直面している問題に答える必要があると絶えず指摘してきました。このように、科学アカデミー設立当初から基礎のあつた冶金の理論的基礎は LOMONOSOV の活躍によつて著しく進歩

いたしました。

物質に関する現代の学問の基礎となつている O. I. MENDELEEV によつて発見された化学元素の周期律は、冶金の基礎理論の発展にとつて著しく重要な意味をもつていました。周期律は化学、物理および隣接する学問分野の発達に大きな影響を与えてきました。この周期律は化学元素およびその化合物の性質のより詳細な研究を可能にいたしました。原子価、化学結合および結晶化学の概念はこの周期律を基礎にして発達したものであります。MENDELEEV の周期律は冶金プロセス、金属および合金の化学理論的基礎の発達にきわめて重要な意味をもつております。系の中における金属元素の位置は、それらの相互作用の特性、生成する相や化合物の組成および性質を決定いたします。

著名な科学者 N. S. KURNAKOV の合金の性質の分野における研究は物理化学的解析法を生み出す結果となりました（すなわち、物理的方法や幾何学的方法を用い物質の変態を研究する一般化学の領域）。物理化学的解析の理論および方法は KURNAKOV とその弟子達により系の広い範囲を研究するために応用されました。金属系の物理的性質および化学的性質と組成および温度との関係についての知識は、合金の成分で生成される相の物理化学的性質およびその相の存在領域の確立を可能にいたしますし、それによつて価値のある性質をもつた重要な工業用材料の組成ならびに加工条件の選択ができるようになります。

実験によつて発見された関係は化学状態図と呼ばれる組成-性質あるいは平衡因子-性質状態図の形で図示されました。化学状態図の幾何学的研究によりまして、成分の抽出や化学分析を行なうことなく系の成分の相互作用の特性（すなわち、それが機械的混合物、溶液あるいは化合物であるかを判定する）、生成する相の化学組成、性質および存在領域について結論を得ることができます。

* 昭和 52 年 6 月 18 日 日ソ製鋼物理化学合同シンポジウムにおける特別講演

** 訳者によつて附せられた副題

*** A. A. Baikov Inst. of Metallurgy

訳者：郡司好喜（金属材料技術研究所）

化学状態図の幾何学的研究は KURNAKOV により化学に導入された2つの原理、a) 連続の原理、b) 対応の原理にもとづいています。連続の原理に従えば、系の組成あるいは他の平衡因子が連続的に変化すると系の性質が連続的に変化しますので、幾何学的モデルもまた連続的に現われます。対応の原理に従いますと、化学状態図における特殊な幾何学的図形は系の各相あるいは複合体を反映していることとなります。

M. A. PAVLOV により工場の条件で行なわれた高炉精錬プロセスの研究は非常に重要でありました。その研究から、送風温度、鉄鉱石の直接還元、精錬の時の燃料の経済性、無煙炭による高炉精錬のような高炉の精錬プロセスでもつとも重要な因子について多くの新しい意見が生まれました。彼の研究結果から、高炉の大きさおよび平炉の大きさを経験的なデータによつて決める方法が公表されました。M. A. PAVLOV はその実験の中で高炉容積の増加は役に立たないという意見を否定し、それによつて彼は近代の高炉建設の発展にいちじるしい影響を与えました。このように彼は冶金および高炉精錬プロセスの実際問題の研究の創始者となつたのであります。

V. E. GRUM-GRGIMAILO の業績は冶金が科学として発展する過程の重要なステップでありました。彼は物理化学の法則（温度変化と関連した系の平衡状態についての法則と酸性ベッセマー転炉および平炉の鋼浴内の反応を説明するための質量作用の法則）を応用いたしました。彼は、けい素およびマンガン含有量の低い鉄鉄からの鋼の溶製を可能にする“ロシア式ベッセマライジング法”を記述いたしました。GRUM-GRGIMAILO は炉内のガスの運動に流体力学を応用し、炉の計算の一般的な科学的方法を創り出して反射炉の計算理論を考案いたしました。また彼は耐火材料の性質を研究しながら Dinac 煉瓦（けい酸煉瓦）の変質の理論を発表いたしました。

P. P. FEDOTIEV の研究によりクリオライト-アルミナ融液の電解によるアルミニウム精錬の物理化学的理論が得られ、1929年にパイロット工場の設備によりソ連最初のアルミニウム生産が行なわれました。また彼の多くの研究はソ連におけるマグネシウム生産を実現するための基礎となつたものであります。

A. A. BAIKOV の業績は冶金プロセスの理論の発達に大きな意味をもつています。彼はある酸化鉄が他の酸化鉄に変態する物理化学的条件を明らかにし、酸化還元プロセスの理論を発展させました。BAIKOV によつて検討されたパイライト精錬の理論は銅精錬工業に対して大きな意味をもつておりました。鋼中にある非金属介在物の役割の研究、高温エッチングによるオーステナイト組織の顕出、示差熱分析法によるニッケルのポリモルフィズム（同質異像）の決定、Fe-C合金における高炭素相の研究についての彼の業績は広く知られています。

鋼の生産に真空を応用する方法および鋼中のガス定量

法は N. P. CHIGEVSKII によつて提案されました。また彼は鉄の窒化および鋼の硼素による滲炭法の研究の原理を見出しました。

硫化鉍の還元の理論およびチタン磁鉄鉍の複合利用の理論に関する E. V. BRIZKE の業績は非常に重要になってきました。BRIZKE の主な研究は冶金原料の処理の分野における物理化学的仕事と技術的仕事に関するものであります。

G. G. URASOV によつて行なわれた金属と硫黄、硫化物および塩化物との相互反応、塩化物と硫化物との系における平衡に関連した広い研究は、析出精錬法や塩化法のような非鉄精錬における複雑なプロセスの理論的基礎となつたものであります。彼はテフビンスキー・ボーキサイトの化学組成および物理化学的性質を詳細に研究し純粋なアルミナを得るためのオリジナルな予備処理法を提案いたしました。URASOV はまた沢山の金属系の状態図を作成し3元系アルミニウム合金の性質を研究しましたが、それによつて強度の高い軽合金の組成や加工条件を選択するための科学的基礎が与えられたのであります。

製鋼プロセスの物理化学的基礎の研究に関する M. M. KARNAUKHOV の業績は広く知られております。

B. V. STARK の主な仕事は冶金プロセスの理論に関するものであります。彼は酸化物の還元および鉄の滲炭の理論、鉄中の不純物の酸化の理論、溶鋼へのガス吸収と溶鋼からのガス放出の理論の問題を検討いたしました。

D. M. CHIGIKOV の主な仕事は、電熱による非鉄金属および希土類金属の新しい生産法、複雑金属鉍石や錳鉍石の塩化法の理論と技術の完成ならびに硫化物電解法に向けられました。

冶金プロセスの分野における A. N. VOLSKII の仕事は非鉄金属を精錬する際の融液中の化学平衡の研究に向けられました。

最後に、冶金プロセス理論の分野における A. M. SAMARIN の仕事は鋼および合金の生産に関連している多くの問題の解決に向けられていました。これらの研究は溶融スラグのイオン説の検討に導き、溶鋼および複雑な溶融合金の脱りん、脱硫および脱酸過程の理論的証明を可能にいたしました。これらの研究はまた、液体合金の熱力学、液体金属および液体合金の構造、とくに単純な脱酸剤および複雑な脱酸剤によつて溶鋼を脱酸する過程で生成する非金属介在物の性質に関する現在の解釈を本質的に拡大いたしましたし、さらに液体金属から非金属相を除去する効果的な方法をあきらかにしました。

彼の指導により金属融液中の成分の活量を決める仕事達成されましたし、金属融液の粘性、密度、電導度、表面張力その他の物性を決める研究が広く行われました。新しい研究方法の適用および方法論的問題の綿密な検討は金属融液の性質やその中の成分の相互作用条件を

理解するのに大きく寄与いたしました。

SAMARIN の指導によつて行なわれた研究の中の特殊な場所は、新しい真空冶金プロセスの理論的基礎を作り出した多くのオリジナルな業績で占められています。真空冶金プロセスの主なパラメーターを決める研究は、真空炉内において鋼、合金および高純度金属を生産する技術の改良に大きな新しい道を開きました。彼によつて提案されましたとりべ中で溶鋼を真空処理する方法は、鋼の生産に応用され大きな成功をおさめております。

* * * * *

現在わが国では、冶金プロセスの物理化学的基礎の分野における研究が広く発達しています。科学アカデミーおよびその支所の研究所、大学の研究所がこれらの研究の領域を受けもっています。ソ連科学アカデミーは、わが国で行なわれている自然科学や社会科学のもつとも重要な課題の研究に対して科学的な指導を行なつております。すなわち研究の基本的方向を決めそれらの仕事の調整を行なつております。ソ連科学アカデミーは、これらの問題を解くためにその科学分野でもつとも重要で複雑な問題について科学会議を組織いたします。

複雑な問題“冶金プロセスの物理化学的基礎”に関する科学会議の活動について簡単に説明いたしましょう。この問題に関する科学会議は次の 6 部から成立つています：金属の抽出プロセスの熱力学と動力学、湿式冶金および冶金プロセスの有害廃棄物からの環境保護、金属および合金の精錬と凝固過程の熱力学と動力学、熔融金属および熔融スラグの構造と性質、物理化学的解析および要求される性質をもつた金属ならびに金属および合金の物理的な研究方法。

科学会議には 10 人から成るビューローがありますが彼らは座長、座長補佐、科学秘書、部門および委員会のリーダー達であります。ビューローは 62 人から成る科学会議の仕事を集団指導しております。

科学会議およびそのセクションの仕事は次のようになっています：

ソ連および外国における冶金プロセスの物理化学的基礎に基づいて現代の研究の方向を解析する。

科学的研究の基本的方向および問題、ならびに問題を処理するためのもつとも効果的方法を決め、これらの課題に関して前向きな提案を行なう。

問題に対する科学的研究の計画、プロジェクト構成および実験、さらには得られた結果の実際への適用に関する研究リーダーの報告を聞き、これらの仕事の成果を評価し、問題を上手に処理するための提案を行なう。

問題に関して得られた科学的研究の成果を国民経済に利用することについての提案を検討する。

関連している問題についての科学的研究の調整を改善

するために他の科学会議と必要な接触を行なう。

ソ連科学アカデミーの研究所、共和国科学アカデミー省および部局から得られたデーターにもとづき問題に関するもつとも重要な科学的業績についての予想計画、全計画の構成および報告書を作製し、課題の検討に参加している機関の所属とは関係なく科学的研究の調整を行なう。

省、部局、共和国の閣僚会議、研究所、大学、工場および課題の解決に参加している組織の提案を検討し、それにもとづいて科学的研究の調整計画を検討する。

問題の解決に参加すべき研究者、プロジェクト組織、試験工場および大学について関係している省や部局により調整された提案を評価する。

指示された問題に関連して科学会議は次のような権限をもつております：

問題の解決に参加している科学的な機関および組織における仕事の状況を熟知する。

問題に関連した見通しのない科学的研究および試験的な組織の仕事を中止し、その財源を停止することについて提案する。

内部的で分化された性格をもつが課題の解決には関連している個々の科学的研究および試験的組織の仕事を、省および部局によつて確立されている計画の中に組入れる提案を行なう。

解決すべき問題のための科学的研究および試験的な組織の発展に関し決められた範囲内において、もつとも効果的な財源および資材の利用、さらにはユニークな設備装置ならびに器具のより効果的な利用について提案を行なう。

研究機関の組織の管理および問題の研究に参加する新しい機関の編成について提案する。

専門家により問題の研究を進める機関を供給し、彼らを効果的に雇い入れるための討議に参加し、もつとも不足している専門家と新しい専門家を訓練するための問題の討議に参加する。

科学および科学技術の情報と宣伝を担当する機関と一緒に、関係のある研究所や機関に対して問題の解決に関連している課題について情報の援助を行なう。

必要であれば情報の報告書を出版する。

その分野の科学的、技術的水準を理解するために科学的な海外旅行のための候補者を推せんする。

会議の推せんによつて行なわれた公的な旅行に関する報告を検討する。

問題に関連した科学的な国際的共同計画の検討に参加する。

博士および修士の学位論文のテーマについて提案し、問題の解決に関連している研究業績を論文として保護するために推せんする。

問題の主な方向の検討を指導するために科学会議のセ

クションを組織することについて提案する。

科学会議の活動は、科学会議、そのビューローおよびセクションの会議による問題の検討により、解決すべき科学的問題に関する連絡会議、代表者会議、定例会議およびシンポジウムの開催により、問題の検討に関連した提案を準備するために科学会議により作られた臨時の専門家グループおよびコミッションの働きにより、その機能を遂行するために科学会議を用意する科学会議メンバーによる非公式な委員会の開催によつて推進されています。

“冶金プロセスの物理化学的基礎”に関する科学会議は、ソ連科学アカデミーの無機材料の物理化学部と技術部の指導の下に活動しております。

この科学会議は次のような研究業務を調整しています。

1) 次のような分野の冶金プロセスの理論的研究：

冶金反応の熱力学、動力学および機構の研究、
 いろいろな集合状態にある物質の性質の研究、
 金属合金の物理と化学の理論的基礎の検討、
 金属および合金の研究と解析の物理的方法の検討、
 金属系の物理化学的研究とそれらの状態図の構成、
 液体金属の状態の理論の検討、
 溶融スラグの構造と性質の研究、
 溶融金属の脱酸過程と脱ガス過程の研究、
 湿式冶金の理論および方法の検討、
 熱分解および還元プロセスの理論に関する研究。

2) 次のような新しい高効率な冶金プロセスの研究：

鉍石から金属を直接抽出する新しい冶金プロセスの物理化学的基礎、

鉍石および精鉍の予備処理の過程、
 金属抽出による金属原料の複合利用、
 天然原料、精鉍および廃棄物から金属を選択抽出および複合抽出する湿式冶金の検討、

半製品および生活環境に悪影響を与える廃棄物の完全処理による密閉工学系によつて金属を生産および抽出する塩化法の科学的基礎の検討、

金属および合金を生産および精錬する電気化学的方法の科学的基礎の確立と検討、

反応系にいろいろな作用を加えて還元過程を強化する理論的、技術的基礎の検討、

金属再溶融法の新しいプロセスの開発および現方法の改善のため科学的基礎の検討

高温および低温、圧力および新しい形式のエネルギーを用い、金属および合金の基本的な性質を根本的に変える全く新しい冶金プロセスおよび方法の発見、

希望する複雑な性質を持つた合金の開発、

冶金プロセスの数学モデルの構成、

物理化学的、熱的、流体力学的、気体力学的相互作用を考慮した工学的な手段およびモデル化の数学的装置の改

善、

金属および合金の生産過程の自動化、調節および制御法の検討、

冶金プロセスの装置設計の検討。

科学的な会議や委員会の開催は科学会議のきわめて重要な機能であります。とくにソ連および外国の冶金学者によつて組織される両国間のシンポジウムの効果の大きいことを指摘しなければなりません。アカデミシャン A. M. SAMARIN は的場教授、不破教授および V. I. YAVOISKII 教授とともに、1967 年からモスクワおよび東京で開催されている冶金プロセスの物理化学的基礎に関するシンポジウムの組織の創始者となつています。この両国間のシンポジウムのテーマはソ連の冶金家達にとつて非常に興味深いものであり、彼らは互に興味のある問題に関する討論は有意義であり、このシンポジウムの組織に費される努力は必ず報いられると考えています。

* * * * *

ここで私は、冶金プロセスの物理化学的基礎および金属ならびに合金の研究の理論的課題を検討する観点から現在私にとつてもつとも興味あるものの一つである問題を指摘いたします。

こうした問題の一つは、高純度金属すなわち他の原子を実際上含んでいない金属を造ることです。この課題は、金属を純化する全く新しい方法の検討と適用を余儀なくさせる非常に複雑なものであります。高純度金属を造る課題は、原子力エネルギーの利用、半導体の応用や他の新しい技術の課題のように実用的な要求を解決すべき問題としてしばしば提案されてきました。この問題を解決するために、現在、沃度法、アイソトープ分離法その他の物理的方法や化学的方法の特殊な方法があります。しかしこれらの方法は少量生産のためのものが多く、多くのエネルギーと複雑な装置を必要といたします。したがつてこれらの方法では比較的少量の物質の製造が可能であり、とくに生産の初期には極めて高価となるでしょう。しかし高純度金属は、他の原子が含まれる時には見られないような性質を示すことでしょう。したがつて、こうした高純度金属の構造やいろいろな性質の研究が大きな理論的興味を提供し、ある場合には実用的な応用も見出されるはずであります。

高純度金属の製造に関連し 2 つの新しい困難な問題が生じます。1 つはそれらの金属を製造する時と研究する時にその純度を保つことであり、他の 1 つは化学分析すなわちその中の微量不純物を定量することです。最初の課題は液体金属と空気との接触を避けるために真空および不活性ガスを使用することにより、今日では解決されています。さらに、液体金属とるつぽ壁との接触も避けられます。これについては、磁場の中での浮游溶

解法あるいは固体金属が液体金属に対してるつぼ壁の役目を果たすカル溶解法が知られています。第2の課題は、高純度金属試料を製造する各場合について化学分析のとくに正確な方法の確立を要求いたします。高純度金属の製造には、よく知られている分光分析、放射化法その他の正確な方法を利用する化学分析法の検討が伴われるべきであります。

1例として、ソ連科学アカデミーの A. A. БАЙКОВ 冶金研究所でその昔行なわれた高純度クロムの製造と研究の例を示しましょう。高純度クロムは、その結晶を石英管に析出させる沃度法によつて造られました。化学分析と分光分析により、Fe, Ni, Sn, W, Pb, Zr, V, Mo, Bi, Nb, Sb, As, Be, Ge, Ta と微量の Cu, Mn, Mg, Ti, Al, 0.01~0.02% の O, N および Si の含有が確められました。高純度金属の性質の研究には、特殊な隔離された真空チャンバーか不活性ガスによつて充たされたチャンバーが必要でありました。

高純度クロムの結晶は分解能の高い特殊なスペクトロメーターを用いる中性子回折法によつて研究され、クロムの磁気反射は分離し、逆スペースの節点には位置することなく主軸の近くに平行に存在することが明らかにされました。ここで分れた反射線の強度は温度ヒステリシスの影響で決定されました。これらの事実は、クロムの磁性構造が結晶構造格子の倍数でない格子をもち、反磁性ドメインから成つており、そこにはテクスチャーのあることを示しています。このように高純度クロムの結晶について、これまでは分らなかつた新しい現象が発見されたのであります。

皆様の注意をひきたい第2の問題は、状態図、平衡状態図あるいは相状態図の研究であります。好んで私がそう呼んでいる状態図は、平衡因子によつて決まる条件下での化学物質の相互作用を特徴づけています。われわれは、化学物質の相互作用の特性が多くの研究結果で決められた多くの因子に依存することを知っています。まず第1に、MENDELEEV によつて発見され彼によつて元素の周期系の形で表わされた無機物の主な化学法則は相互作用の特性に影響いたします。この法則は原子の構造、物質の結晶構造および化学結合の性質を決め、よく知られているようにそのすべてが状態図の構造を決める原因となつております。今日、われわれがもっている理論的知識は MENDELEEV の周期律に基礎を置いた一般的なデータから出発して状態図を構成できるように思わせるかも知れません。しかしそれはまだ不可能なことなので、状態図はいまなお研究者の実験の産物なのであります。

知られている熱力学的データを用い計算によつて状態図を構成する試みは、計算と実験の相互の検討に利用されていますが実験を完全に置換えることはできません。状態図を研究するために状態図の決定方法の改善が試みられました。すなわち裏板上に薄膜を蒸着させていろいろ

なる組成の試料を得る S. A. VEKSHINSKII の方法、拡散によつて生成する相を研究する拡散層法であります。この方法で研究されている試料は平衡状態にないので、熱処理法により平衡状態にされた一定組成の単一試料を研究する方法によつて代わることはできないのであります。

このように、状態図研究の基本的方法は溶融法あるいは粉末冶金法で造つた試料を熱処理する広く知られた方法であり、これらの試料は熱分析（単純あるいは示差熱分析）、ミクロ組織観察（光学顕微鏡あるいは電子顕微鏡）、X線回折（相の構造の研究あるいは結晶格子の精密測定）、いろいろな温度における物理的性質および機械的性質の測定（温度-組成、性質-組成曲線の構成）によつて研究されます。時の経過とともに状態図を決める精度は高くなり装置も改良されてきましたが、その原理は全く変化しておりません。

いろいろな研究者によつて造られた状態図が互に一致しないことがしばしばありますが、その原因の一つは使用した材料の化学的純度の差であると考えべきでしょう。従つて、M. HANSEN が最初に利用した研究方法が意味をもつてきます。状態図の作成に用いるあらゆる実験材料を詳細に検討し、彼の意見に従いもつとも信頼すべき選択によつて状態図を構成いたしました。もちろんこの方法は主観的でいくらか独断的なものであり、その他に公表されている材料のすべてについてさらに詳細な検討が要求されましょう。こうした仕事の結果として刊行される本は、実験材料を批判的に評価した結果なので非常に科学的価値の高いものであります。指摘した事からも分かるように、高純度金属あるいは他の材料を造る問題は信頼される状態図を構成するためにも大きな意味をもつています。高純度物質は少量だけしか得られませんが、状態図の研究の領域で働く研究者の努力はわずかな材料で状態図を研究できる方法の発展に向けられるべきでありましょう。

最後に、われわれの注意をきわめて実用的な重要性に向けるならば、冶金への真空の利用、冶金における連続プロセスの検討および実現、密閉系によるプロセスの開発、冶金プロセスからの環境保護の問題、レール生産のような冶金の多量生産過程の改善、機械構造用鋼および建築用鋼の生産を指摘する必要があります。これらの問題の中には未解決の問題や課題が数多くあり、冶金の将来性はこれらの問題の解決にいちじるしく依存しております。

私の長い報告を終りたいと思います。結論として、われわれおよび日本の友人達に興味のある冶金プロセスの物理化学的基礎の分野において、さらに多くの興味ある問題をわれわれが発見するだろうということを指摘いた

します。私は、冶金学者の日・シンポジウムが将来さらに発展するだろうと考えています。私はあなた方とソ連において、再び、そして度々お会いすることを熱望いたします。

私の報告に対して時間を割き、注目していただいたことに心から感謝申し上げます。

(訳者註)

原文の内容をそこなわないようにできるだけ逐語訳にしましたことと、英文が必ずしも正確ではありませんでしたのでロシア語原文に従って訳文を作製しましたことを附記いたします。