解 説

ネフェライトその後

明石 雅夫

(社)粉体粉末冶金協会顧問, 〒206-0012 多摩市貝取2-8-4-9.

Neferrite Part II

Tsuneo Akashi

Adviser of Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, 2-8-4-9 Kaidori, Tama 206-0012.

Received February 12, 2004

1 はじめに

ネフェライトは, 超多重長距離電話搬送装置の濾波器用線輪および変成器の磁心を画期的に小型化するために日本電気株式会社で開発された通信用低損失MnZnフェライトですが, ネフェライト開発の経緯については, 「ネフェライト」と題して本誌48巻10号に発表しました。

ネフェライト開発は

- ① 画期的な性能の通信用 MnZn フェライトを開発する。
 - ② そのフェライトを量産可能とするための原料・設備を開発する。
 - ③ 研究成果の権利を確保するための特許を取得する。
- の3点に研究を集中し, 研究速度を速めるため,
- ④ なぜ? どうして? を追及する研究は極力排除する。
 - ⑤ 通常のステップで必要とする実験でも, 思考実験を多用し, 可能と判断すれば省略する。

ことを指針としました。

ネフェライトの原料として使用する高純度酸化鉄の開発をお願いした京都大学理学部化学教室金相学研究室の高田先生(利夫, 当時助手, 後に京都大学教授・化学研究所所長・名誉教授, 当協会10代会長, 故人)と, 研究・開発の手法で年中論争していたことは, 先の小文「ネフェライト」にも書きましたが, その原因は④⑤にありました。湿式法による酸化鉄を探索する学問の第一歩として, ネフェライトの原料として使用する高純度酸化鉄の開発を取り上げられた高田先生が④⑤の指針を認める筈が無く, 論争が続いたのも無理ありません。

しかし, 3人で始めたネフェライトの研究を, 研究着手後3年で量産試作を含めて完了し, その後半年で量産工場を運転するまで速度を速めることが出来たのは, ④⑤の指針があった為だと今でも考えています。当時の私どもには, 優れた材料

を早く開発したい, 早く量産したいという思いだけがあり, 学問をするつもりは全くありませんでした。

そういう私に, 学位の話が飛び込んで来たのは, 昭和35年9月初めのことでした。石川さん(義興, 当時日本電気株式会社研究所第一研究室室長, 後東北金属工業株式会社(現, 株式会社NECトーキン)常務取締役, 故人)に呼ばれ, 『小林さん(正次, 当時日本電気株式会社専務取締役研究所所長, 後慶應義塾大学教授, 防衛庁研究所顧問, 故人)が, 岩瀬先生(慶三, 当協会初代会長で, 既に京都大学教授・東北大学教授を定年退官され東北大学名誉教授になられてはいましたが, 高純度酸化鉄の開発をお願いした時京都大学理学部化学教室金相学研究室で助手であられた高田先生を指導されていた教授。故人)にお目にかかり, 君の学位についてお願いしたところ, 即座に引き受けてくださった。先生のご都合を伺った上で, なるべく早く先生にお目にかかるように。』といわれました。

多賀高等工業学校を卒業後, 直ちに海軍技術見習尉官となり, 敗戦後海軍技術中尉で復員し, 日本電気株式会社に入社した私は, 高田先生に高純度酸化鉄の開発をお願いするまで大学には全く縁が有りませんでしたので, 学位など考えたことも無かったのですが, とにかく有難いお話なので, 『はい』と申し上げて石川さんの前から引き下がりました。

2 学位論文作成の経緯

2.1 初めて岩瀬先生と一対一で

岩瀬先生に直接電話を差し上げるのは恐れ多いので, 高田先生に電話して事情を話し, 岩瀬先生のご都合を伺って戴いた。早速高田先生から返電があり, 先生は明日東京に出張され, お宿を神田学士会館にとられた。明後日午後5時学士会館に先生をお訪ねするようにとのことでした。

岩瀬先生にはそれまでも度々お目にかかってはいました。しかし、小林さん・石川さんのお供の時は、小林さんや石川さんの後ろでただ頭を下げるだけで直接お話しすることはありませんでしたし、一人で京大に出張した時にも、高田先生とご一緒に先生のお部屋に伺い、酸化鉄の件で高田先生と打ち合わせに参りましたとご挨拶するだけで、ろくにお話をしたことが無かったほど、岩瀬先生は雲の上の人でした。

当日はかなり緊張して午後4時58分先生のお部屋の扉をノックしました。椅子を勧められ、恐縮して座に就いた私に、先生は、いきなり、『理学博士を望むのか、それとも工学博士が欲しいのか?』とお尋ねになりました。『大学に入っても居ない私には、理学博士は恐れ多いです。出来れば工学博士をお願いいたします。』と答えると、『では、そうすることにして、何かネフェライトに関して書いたものを持って来たか。』と仰いました。フェライトグループに配属された大卒の新人用に作ってあった『ネフェライトについて』と題するかなり分厚い資料をお見せしましたところ、先生は目次と最初の数ページに目を通された後、『明日同じ時間にまたここに来なさい。それまでに目を通しておくから、資料はおいてゆきなさい。』と仰いました。私は『お願いいたします。』と挨拶して草々に退室しました。

これで岩瀬先生との第一回の対一面談は終わりました。廊下に出て大きな息をしたとき脇の下に冷や汗がビッシヨリだったことを、昨日のこのように思い出します。

2.2 岩瀬先生との二度目の対一

翌日同時刻再度先生をお訪ねしました。先生はかなり上機嫌で、『なかなか良く出来ている。論文の形式になるように、章・節を改め、言葉も論文にふさわしいように書き直さない。その際、ネフェライトが使用されている装置の概要・装置小型化の際に要求されるフェライトの特性・ネフェライトによるフェライト特性の向上がどの程度の装置小型化を実現したか・その装置小型化によってどのような効果が生まれたか等について詳細に書きなさい。この資料にも一応は触れてはいるが簡略に過ぎる。日電内では常識なのかもしれないが、これでは世間の人には理解できない。別に一章を設けるのが良いだろう。』と仰いました。

いかなる難題が出てくるのかとビクビクしていましたが、意外に容易なお話に安堵して、『すぐ、書き直します。しかし、この資料は社内文書で、未公表のノーハウがかなり沢山書かれています。特許で保護できない未公表部分は削除または簡略化を必要としますが、お許し戴けますでしょうか。』と申し上げました。

『公表を憚る部分の削除簡略化はやむを得まい。どのくらい掛かるかね?』『二週間もあれば書き直せると思います。』『急ぐ必要はない。急ぐよりは完全なものにすることを心掛けなさい。出来たら連絡しなさい。連絡の際、いちいち他人を煩わすことはないから、君がここに電話しなさい。』と連絡先の電話番号を教えて戴いて、この件は終了しました。

その後は、ネフェライト以外に日電でした仕事の説明を致

しました。広帯域変成器用超高透磁率パーマロイの開発・標準周波数発生装置用音叉材料の開発・大型送信管タングステンフィラメントのノンサグ対策・大型送信管のタングステンとニッケルの溶接法改善・大型送信管のタングステン、ニッケル、銅接続用ニッケル材質の改善・医療用X管対陰極製法の確立・モリブデン板、タングステン線、金を用いた板極管用グリッドの開発・タングステン線モリブデン線の熱間逆張力線引法の開発と同上用線引機の設計製作・トリヤ(ThO_2)入りタングステン線製法(特に還元、成型、焼結、スエージング、線引工程の作業条件)確立等々説明を終わった時は、夜もかなり遅くなっておりました。

先生はその間夕食を探ろうともされずに、何度も頷きながら聞いて下さいました。『ネーベンとしてはどれも使えそうだが、まず主論文を書き上げた後としよう。では連絡を待っている。』というお言葉で、先生との第二回目の対一面談を終わりました。

『先生、夕食をご一緒させていただきませんか。』とお誘いする勇氣は、当時の私にはありませんでしたから、『ありがとう御座いました。』と頭を下げただけで、退室いたしました。

2.3 工学博士断念

次に岩瀬先生にお目にかかったのは京都の生産開発科学研究所(以下生研という)でした。先生は持参した論文の原稿を開きもせず、『ひどく薄くなったな。もう少し量を増やせないか。』とおっしゃいました。『公表を憚る部分を一部削除一部簡略化した結果こうなりました。これ以上量を増そうとすれば、蛇足を加えて水増しするだけで、中身はどんどん薄くなります。』と申し上げると、『そうか。』と一言漏らされただけで、しばらく考え込んでおられました。

やがて、先生は、『主論文がこの量では、工学博士はとても無理だ。断念するほかあるまい。』と申されて、また考え込んでしまわれました。私は『申し訳ありません。』と申し上げただけで、うつむいていました。

その状態がかなり長い時間続いた後、先生は『君の $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 同時添加による電気抵抗増加の効果は、 MnZn フェライトだけの現象か?それとも、他のフェライトにも存在する現象か?』とお尋ねになられました。

ネフェライトで対象とした MnZn フェライトの一般式 $\text{Fe}_{2+\alpha}\text{Mn}_{1-\beta}\text{Zn}\gamma\text{O}_{2+\delta}$ ($\alpha\beta\gamma\delta$ は正の数、 $\alpha-\beta+\gamma=0$)を紙に書きながら、『 $\text{Fe}_{2+\alpha}$ である限り、 $\text{Mn} \cdot \text{Zn}$ を他のどのような2価金属で置き換えたフェライトにも、 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 同時添加による電気抵抗増加効果は認められる筈です。 α がゼロまたは負数である場合にも同様な効果は存在する筈ですが、この場合はもとのフェライトが絶縁体で電気抵抗が非常に高いので、 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 同時添加の効果を実際に確認することはかなり困難だと思います。』と申し上げました。

先生は間髪を入れず『では、 $\text{Fe}_{2+\alpha}$ の場合の各種フェライトに $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 同時添加による電気抵抗増加の効果が存在することを、実験によって証明しなさい。』と申されました。『はい。』と答えますと、『1ヶ月以内に結果をまとめて報告しなさい。』

待っている。』との仰せでした。

先生のお言葉の真意が理解できないまま先生のお部屋を出た私は、その足で京大に高田先生を訪ねました。話を聞いた高田先生は『おっちゃん、理学博士を考えているかも知れん。』といわれました。(恐れ多いことですが、私共はかげで岩瀬先生のことをおっちゃんと呼んでいました。)しかし、理学部での研究のやり方を知らない私には、高田先生の言葉の意味も理解できませんでした。

その夜、高田先生と酒を飲み、いつものように何箇所か梯子をしましたが、少しも酔えなかったことを記憶しています。

2.4 理学博士への挑戦

前回から27日目に、Mnフェライト・Niフェライト・Znフェライト・Mgフェライト・MnMgフェライト・NiZnフェライトに微量のCaO・SiO₂を同時に添加した場合にも、MnZnフェライトの場合と同様に電気抵抗増加の効果が存在することを示すデータ¹⁾、並びにBa・SrにはCaより更に微量でCaと同様な効果があることを示すデータ²⁾を携えて、再度生研に岩瀬先生をお訪ねしました。

一応の説明と共にお示ししたデータを、先生は二度も三度も繰り返しご覧になった後、『よし、これでCaO・SiO₂同時添加による電気抵抗増加効果が、鉄過剰型フェライトの全てに認められる共通現象であることが良く分かった。これを基礎にすれば、理学博士請求のための論文が作れるかも知れない。しかし、そのためには従来やっていたような新しい実験をやる必要が出てくるが、やるか?』と問われました。

理学部の学位論文が如何なるものであるかを知らないまま、『やらせて下さい。』と申し上げました。盲人蛇に怖じずとはよく言ったもので、これがその後の苦難の発端であり、同時に理学部での学問研究の片鱗に触れる端緒でもありました。

先生は、『CaO・SiO₂同時添加による電気抵抗増加効果がなぜ起こると考えるか?』と質問されました。

『フランスのGuillaudが0.05~0.25 mol%のCaOを添加することによって渦電流損失の少ないMnZnフェライトを得ることに成功したと称した時、彼は高い比抵抗を持つMn・Ca化合物を主体とする固溶体が結晶粒界に析出することがその原因だと推定しています。

GuillaudはCaOを単独に添加することによってこのような現象が起きると考えていますが、CaOのみの添加ではこのような現象は生じません。Guillaudが実験で使用した酸化鉄原料は高純度天然礬酸鉄で、その天然礬酸鉄は確かに高純度ではありましたが僅かにSiO₂を含んでいる事実を、Guillaudの指導で通信用低損失MnZnフェライトを作っているL.C.T.のバリー工場で昨年確認しました。

GuillaudがCaOの添加効果と認識していた現象は、私どものCaO・SiO₂同時添加による電気抵抗増加効果と同じ現象で、彼は添加したCaOと原料として用いた高純度天然礬酸鉄中のSiO₂との複合効果であることに気付かず、CaO単独の添加効果と誤認したに違いありません。

抵抗増加の効果があるのがMnZnフェライトだけではない

ことから、Guillaudが高い比抵抗を持つMn・Ca化合物を主体とする固溶体と述べている部分を、CaO・SiO₂を主体としフェライトを固溶した高い比抵抗を持つ薄層と修正し、この薄層が結晶粒界に析出することが電気抵抗増加の原因と推定しています。』と答えました。

先生は更に『Guillaudはその推定を証明したか?』と質問されましたので、『GuillaudはCaOが結晶粒界に集中していることを証明したと称していますが、結晶粒界に高抵抗薄層が存在することは証明しておりません、ただ推定しているだけです。またGuillaud以外にも、そのような証明をした人を知りません。』と答えました。

間髪を容れず、先生はいとも簡単に『では、その推定が真実であると、君が証明しなさい。連絡を待っている。』と申され、『はい』と答えた私を部屋に残したまま、席を立たれました。その日はそれで終わりでした。

高田先生は、『やはりそうか。理学博士となると、今日の難題はまだ序の口で、次から次と難題が続く。覚悟したほうがいい。』と脅かしますが、これが理学部流の研究かと覚悟を決めた私は、その夜の高田先生との梯子酒に気持ちよく酔った記憶があります。

2.5 高抵抗層が結晶粒界に存在することの証明(その1)

Fe_{2.06}Mn_{0.6}Zn_{0.34}O_{4.3}の組成を持つMnZnフェライトに微量のCaO・SiO₂を同時に添加した試料の中から、10μ程度のほぼ均一な結晶からなる組織を持つ試料即ちSiO₂ 0.02 mol%とCaO 0.2 mol% 或いは0.5 mol%とを同時に添加した2試料と、それより遥かに巨大に成長した多くの結晶を含む組織を持つ試料即ちSiO₂ 0.05 mol%とCaO 0.1 mol% 或いは0.2 mol%とを同時に添加した2資料計4試料を選び、1KHz/secから30MHz/secの周波数範囲で電気抵抗と誘電率の変化を測定しました。その結果、SiO₂ 0.02 mol%を含み均一な微結晶組織を示す2試料の電気抵抗と誘電率は測定周波数の増加に伴って緩やかなdispersionを示し、SiO₂ 0.05 mol%を含み多くの巨大結晶のある結晶組織を示す2試料の電気抵抗と誘電率は測定周波数の増加に伴って急激なdispersionを示すことが明らかとなりました。

この様にSiO₂添加量の差によって結晶組織が異なるだけでなく、測定周波数の増加に伴う電気抵抗と誘電率のdispersionの様式が異なる典型的な2種類各2試料計4試料について、結晶粒界に極めて薄く且つ高比抵抗をもつ層が存在するというモデルを仮定して誘導された式を用い、結晶粒内の比抵抗を結晶粒界の高抵抗薄層それに比し無視できるとし、また誘電率εを10として解析しました。

その結果、SiO₂ 0.02 mol% CaO 0.2 mol%を添加した試料で6×10⁵ Ω-cm、SiO₂ 0.02 mol% CaO 0.5 mol%を添加した試料で2.2×10⁵ Ω-cm、SiO₂ 0.05 mol% CaO 0.1 mol%を添加した試料で2.2×10⁶ Ω-cm、SiO₂ 0.05 mol% CaO 0.2 mol%を添加した試料で2.5×10⁶ Ω-cmの比抵抗を持つ薄層が結晶粒界に存在するとすれば、計算値と測定値がかなり良く一致するという結論³⁾が得られました。

SiO₂添加量の差によって結晶組織が異なるだけでなく、測定周波数の増加に伴う電気抵抗と誘電率のdispersionの様式が異なる典型的な2種類各2試料計4試料に対し、結晶粒界に高い比抵抗をもつ薄層が存在するというモデルを仮定して誘導された式を用い、実験値をほぼ説明できる計算結果が得られたのですから、結晶粒界に高抵抗薄層が存在するという推定は証明できた(その時は)考えました。その結果を持って岩瀬先生を神田の学士会館にお訪ねしたのは前回から約半月後でした。

『思いのほか早かった。』と機嫌良く迎えて下さった先生は、結果の説明が進むに連れてだんだん険しいお顔になられました。遂には説明を途中で遮られて、『これは証明ではない。自分に都合の良いモデルを仮定して導いた式に適当な数値を代入して計算したら、実験結果に近い結果が得られたというに過ぎないのであろう。見て来たような仮定の下で作られた式に適当な数値を代入して計算した結果がいかにも実験値と一致したからといっても、仮定したモデルが真実であると証明することは出来ない。それは、高々仮定したモデルが本当らしい』ということが出来るだけで、この様な方法では高抵抗薄層が結晶粒界に存在するという推定が正しいということを証明することは絶対に出来ない。要求したのは、高抵抗薄層が結晶粒界に存在するという推定が真実であると、実験事実のみで証明ことである。それが出来ない限り、今後の連絡は一切無用である。』と仰ったまま私の顔を睨み付けられました。

私は、実験事実のみで証明するための準備が進行していると説明することも出来ず、『分かりました。』とのみ申し上げてお部屋を辞去するほかありませんでした。

この日、岩瀬先生から非常に強く叱られましたが、帰途に就いた私は、決して落ち込んではいませんでした。岩瀬先生が証明といわれる実験そのものの準備がかなり進んでいたからです。今度こそ絶対先生に『参った。』と言わせて見せる。そのような気持ちで、研究室に戻りました。

2.6 高抵抗層が結晶粒界に存在することの証明(その2)

進んでいた実験の準備とは、Bridgman法による単結晶作成の条件を変更し、単結晶ではなく二個の結晶からなるフェライト棒を作る条件を見出すことでした。

まだ100%確実に二個の結晶からなるフェライト棒を作る条件は確立していませんでしたが、モデルを仮定して作った式を計算する手法が先生のお気に召さぬ以上、事を急ぎます。

直ちに、高純度原料を用いたFe_{2.08}Mn_{0.59}Zn_{0.33}O_{4+δ}の組成を持つMnZnフェライト・これにCaO 0.1%を加えた組成・SiO₂ 0.01%を加えた組成・CaO 0.1%とSiO₂ 0.01%を同時に加えた組成の4種類の組成を持つMnZnフェライトの二個の結晶からなるフェライト棒を作る実験に着手しました。結局6回の実験で4種類の組成を持つMnZnフェライトの二個の結晶からなる直径1cmのフェライト棒を作ることができました。

高さ2cmの円柱を切り出し、結晶粒界をはさんで円柱の両側面に電力端子を取り、端子間隔を種々に変えた電圧測定端子により、4端子法によって抵抗を測定しました。結晶粒界の

極く近傍に電圧端子の一方の端子を置き他の端子を結晶粒界をはさんだ他の粒子内に置いて測定した結果がFig.1³⁾です。電圧端子の最も狭い間隔は10μ程度でした。Fig.1にはCaOとSiO₂を単独で添加したデータが示されていませんが、高純度原料を用いた場合と殆ど同様でしたので省略しました。

結晶粒内の比抵抗はCaO・SiO₂の有無にかかわらず何処でも0.23Ω-cmでしたから、電圧測定端子の両端子が同一結晶粒内にある時は極めて低い電圧を示していますが、一方の端子が結晶粒界を越えるや否や第一図に見られるように高い電圧を示す事実から、Fig.1は、結晶粒界に存在する高抵抗薄層と電圧測定端子の端子間隔が大きくなるにつれて結晶粒内の低抵抗層(0.23Ω-cm)の寄与度が増加することによって得られたと理解することが出来ます。結晶粒界の高抵抗薄層の厚さを0.1μと仮定すれば薄層比抵抗は5×10³Ω-cm、高抵抗薄層の厚さを0.01μと仮定すれば薄層比抵抗は5×10⁴Ω-cm、となります。

高純度原料を用いたMnZnフェライトの結晶粒界にも多少抵抗の高い層があることをFig.1は示していますが、高純度原料を用いた場合でもCaO・SiO₂が皆無ではないための現象か、それとも結晶粒界固有の現象かは明らかではありませんが、CaO・SiO₂添加の有無による差は明瞭です。

この結果を持って生研に先生をお訪ねしたのは、前回お叱りを受けてから4週間後の12月中旬でした。初めあまり気乗

Fig.1 Resistivities as the function of the interval.
a: No impurity, b: CaO 0.1 mol%, SiO₂ 0.01 mol%

りがしないご様子であられた先生は、外周と切断面をエッチングして二個の結晶からなることが明瞭な直径1cmのMnZnフェライト棒をお見せした時には、明らかにご様子が変わられました。これに向き合う切断面を研磨した高さ2cmの円柱(外周はエッチングしてあるが、切断面は研磨のまま)に電流端子を取り付けた測定試料と、4端子抵抗測定法用電圧測定端子の数個の実物をご覧に入れながら、Fig.1を示して説明しますと、『よし。これで結晶粒界に高抵抗薄層が存在することを疑問の余地無く証明できた。』と合格点を下さいました。

後は、電圧測定端子の作り方を細かく質問され、端子間隔が大きい場合には2本の木綿針の先端を残してポリエステルで固め、端子間隔の小さい場合には、絹針を先端の極一部を残してポリエステルに埋め片側から研磨して針を半分に切断しものを2個作って組み合わせ、間に挟んだ雲母の上部の厚さを加減して端子間隔を調節した後ポリエステルで固めたことを申し上げると、『君は思いもよらず器用だね。』と褒めて下さいました。81年生きて来ましたが、後にも先にも器用と言われたのは、これが最初で最後です。

先生は最後にはひどく機嫌ではありましたが、そのまま終わるはずはありません。『結晶粒界の高抵抗薄層はCa・Siを主体とする固溶体が結晶粒界に析出することで出来るという話だが、結晶粒界にCa・Siが集中していることを、次回までに証明しなさい。』と次の宿題が出されて、終わりました。

その夜も例のように高田先生と梯子酒でしたが、この夜は可知先生(祐次、当時京都大学教授、後に京都大学名誉教授、故人)が一緒でした。3人とも大正11年の生まれで、可知先生が8月、私が9月、高田先生が10月生まれという順で、仲がよく、東京では可知先生が東北大学助教授の時代から酒席を一緒にしていましたが、京都で可知先生とお酒を飲むのは初めてでした。その夜は3人で楽しく酔って過ごしました。

2.7 液相焼結

現在のようにE.P.M.A.がどの研究室にも備わっている時代ならば、Ca, Siが結晶粒界に集中していることを証明するのに、苦労は要らないでしょう。先に結晶粒界に高抵抗薄層が存在することを証明する時使用した高純度原料を用いたMnZn

フェライト・これにCaO 0.1%を加えた組成・SiO₂ 0.01%を加えた組成・CaO 0.1%とSiO₂ 0.01%を加えた組成の4種類の組成を持つMnZnフェライトの二個の結晶からなるフェライト棒の断面を、E.P.M.A.で走査すれば所要の結果が得られるに違いありません。

しかし、当時はそんな便利な装置はまだ存在していませんでした。仕方ありません、Caが結晶粒界に集中している証拠として⁴⁵CaOを用いたGuillaudと同様な方法を利用することになりました。

ただし、Guillaudが⁴⁵CaOを用いてCaが結晶粒界に集中している証拠として示した写真は、一面に黒い斑点が散乱しているだけで、どうしてこの写真がCaが結晶粒界に集中している証拠になるのだろうか、首を傾げたくなるような写真でした。この程度の写真で岩瀬先生がウンとおっしゃる訳がありませんから、誰が見てもCaが結晶粒界に集中しているという写真を作らなければならないと覚悟は致しました。

放射能を持つ⁴⁵CaOは普通の実験室で簡単に扱うというわけには参りませんで、適当な設備を施した実験室が必要でした。幸いなことに当時、フェライト原料中の極微量な不純物を定量分析する究極の手法と考えられていた中性子放射化分析の技術を取得するために、フェライトグループの一員であった小野田儀弘君を東海村の原子力研究所に派遣していましたので、彼にその実験を命じました。

実験は、Fe_{2.08}Mn_{0.59}Zn_{0.33}O_{4+δ}組成のMnZnフェライト仮焼粉末を小野田君に届け、これにCaOとSiO₂を添加し、(Fe_{2.08}Mn_{0.59}Zn_{0.33}O_{4+δ})_{0.9989}(CaO)_{0.001}(SiO₂)_{0.0001}と(Fe_{2.08}Mn_{0.59}Zn_{0.33}O_{4+δ})_{0.999}(CaO)_{0.001}で示される2種類のMnZnフェライト粉末を作るとき、Caの一部を⁴⁵Caに置換した粉末を作り、成型焼結しました。焼結の条件は結晶粒子を成長させるため1,550℃ 2時間としました。平均結晶粒子径は約1mmでした。この試料から切り出した試料の一面を鏡面に研磨して0.5mm以下の薄片を作り、鏡面に研磨した面を写真乾板の上に置き、オートラジオグラフを作成しました。オートラジオグラフ作成後、試料をエッチングして顕微鏡写真を撮影しました。

CaOとSiO₂とを共に含む試料のオートラジオグラフと顕微

Fig.2 Grain-boundary autoradiograph (a) and corresponding texture (b) in MnZn ferrite with small amounts of SiO₂ and CuO.

鏡写真を対比したのがFig.2で、CaOが結晶粒界に集中している様子が見事に示されています⁹⁾。

CaOのみを含む試料でも同様の実験を行ないましたが、そのオートラジオグラフは全体がぼんやりと黒くなるだけで、結晶粒界へのCaOの集中は認められませんでした。Fig.2とあわせ考えれば、SiO₂がCaOの結晶粒界集中に決定的な役割を果たしていることは極めて明白です。

これらの結果を携えて岩瀬先生にお目にかかったのは昭和36年正月中旬の生研でした。一応の説明の後、SiO₂が結晶粒界に集中している事実を直接証明する手段が見つからないことをお詫び申し上げると、先生は『まあいいだろう。』と許して下さいました。

次回までの宿題は、CaO 0.1% SiO₂ 0.01%という極めて微量の添加にも拘らず、なぜCaOとSiO₂がこの様に全域の結晶粒界に分布するのか、その理由を明らかにせよ。ということでした。

この頃には、次に先生がどのような課題を出されるか、見当がつくようになっていましたので、今回の宿題についても既に手は打ってありました。

その夜も、例のように高田先生、可知先生との梯子酒でした。

2.8 液相焼結

既に着手済みの実験とは、Fe₂O₃・CaO・SiO₂とMnZnフェライト・CaO・SiO₂の3元セラミックスの10%刻みの各組成の融点測定です。融点測定といっても本格的な測定ではなく、隙間を開けて逆円錐状に巻き上げた白金線の容器を20個ほどぶら下げた鉄枠を作り、白金線の容器にそれぞれ組成の異なる3元組成物粉末の成型体を置き、10°Cずつ温度を変えた電気炉に鉄枠ごと出し入れし、成型体が溶けて無くなっていけば、その温度をその組成物の融点とする乱暴な測定法です。

Fe₂O₃やMnZnフェライトが10%で、残りCaOとSiO₂でややSiO₂が多い組成物が1,000°C以下の融点を示すことが既に分かっていました。その近傍のより細かい組成での融点測定も既に進行中でした。

実験の進行を待って、Fe₂O₃・CaO・SiO₂およびMnZnフェライト・CaO・SiO₂を3頂点とする3元状態図用の2枚の用紙にそれぞれの組成の融点を10°C刻みで地図の等高線のように示した図を作成しました。

また、直径約3cm高さ約2cmのFe_{2.08}Mn_{0.59}Zn_{0.33}O_{4.46}組成を持つ高純度原料を用いたフェライト焼結体の上面中心に、CaO・SiO₂・MnZnフェライトの3元セラミックス中最も融点の低かったセラミックスの1mm程度の焼結体小粒を置き、毎時100°Cの速度で1200°Cまで昇温し、1200°Cに到達直後冷却した試料を真二つに切断し、溶けた物質が表面に大きく広がっているばかりでなく最も深い所では裏面に近いところまで広がっている状態を示している試料を作成しました。

この試料と図を携えて岩瀬先生を生研にお尋ねしたのは、前回から2週間後の2月の初めでした。

2枚の融点分布を示す3元図と、低融点のCaO・SiO₂・MnZnフェライト焼結体が1,200°C以下の温度でMnZnフェライト焼

結体に広く拡散している状態が明確なサンプルを示しながら、『焼結時、微量CaO・SiO₂を含むMnZnフェライト成形体を加熱昇温中、拡散によって融点の低い組成となった領域がたまたま各所に出来る可能性は充分考えられます。』

『成形体の温度が1000°Cに近づくとこれら低融点領域の組成物は各所で熔融し、近隣の酸化物粒子の表面を覆いつつ広がります。』

『融液と接触した酸化物粒子は融液中に溶け込みます。融液に溶け込んだCaOやSiO₂は融液中に留まりますが、融液に溶け込んだFe₂O₃・MnO・ZnOの一部は融液中に留まるものの大部分は融液中を移行しつつフェライトとして析出します。』

『融液に溶け込んだCaO・SiO₂より融液に残留したFe₂O₃・MnO・ZnOの量が多くなることは容易に考えられますから、その場合融液の融点は上昇し、試料の温度が融液の融点以下であれば、CaO・SiO₂を主体とするFe₂O₃・MnO・ZnOの固溶体の薄層として結晶粒界に固化します。』

『この結晶粒界に固化した薄層は、昇温中の試料の温度が薄層の融点を越えた時点で再度熔融し、先に述べた状態を繰り返しながら液相焼結を推進すると同時に、液相が粒子表面を覆う領域を拡張します。』

『この様な状況は焼結温度が最高保持温度に達するまで続きますが、保持温度に達した直後には、全ての液相はCaO・SiO₂を主体とするFe₂O₃・MnO・ZnOの固溶体の高抵抗薄層として結晶粒界で固化します。』

『液相を介する焼結が固体拡散のみによる焼結より速く進行することは良く知られています。CaO・SiO₂を含むネフェライトが、通常のMnZnフェライトより200°C近くも低温で焼結を完了するのは、CaO・SiO₂を主体とする融液が介在する液相焼結であるからではないかと考えています。』

『ネフェライトの場合、この様にして、極めて僅かなCaO・SiO₂にも拘らず、CaO・SiO₂を主体とするFe₂O₃・MnO・ZnOの固溶体の高抵抗薄層がフェライトの全結晶粒界を覆っているのだと考えます。』と一気に説明いたしました。

液相焼結という言葉は、焼結について記した書物や論文にはよく見かけました。しかし、液相焼結の具体例を示した書物や論文をそれまで見たことはありませんでした。液相焼結の具体例を初めて見出したという自負心も説明を自信たっぷりさせた一因かもしれません。

黙って説明を聞いておられた先生は、暫くして、『この見てきたような嘘が、10年もったら本物だね。』と申されました。

その後すぐ、『各種フェライトにCaO・SiO₂を添加したとき、電気抵抗のピークが2箇所にある場合があった。その理由はなぜか？また焼結温度・焼結雰囲気を変えるとピークの組成が変動するのはなぜか？の2点を次回には明らかにしなさい。』と続けられました。

今回の課題を出されたことで、断続しながら液相焼結が行なうことが、極めて僅かなCaO・SiO₂にも拘らず、CaO・SiO₂を主体とするFe₂O₃・MnO・ZnOの固溶体の高抵抗薄層がフェライトの全結晶粒界を覆っていることの原因という説明を、

先生がお認めになられた結果が、『この見てきたような嘘が、10年もつたら本物だね。』という先生のお言葉であったことを理解しました。

また先生は、『次回には、各種フェライトに $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ を添加したとき、電気抵抗が変化した実験結果を論文にしてください。』と仰しやられました。

高田先生は、おっちゃんが論文を書けといったのは難題もそろそろ終わりだというサインだと申され、前祝だと称してその夜の梯子酒はかなり盛り上がりしました。

2.9 結晶粒界高抵抗物質の電気抵抗

各種フェライトに $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ を添加したとき、電気抵抗のピークが2箇所にある場合があった。その理由はなぜか？また焼結温度・焼結雰囲気を変えるとピークの組成が変動するのはなぜか？の2点を次回には明らかにせよ。という岩瀬先生の課題に答えるためには、結晶粒界を覆っているであろう高抵抗層の組成と考えられる $(\text{CaO}_{1-x}\text{Si}_x\text{O}_2)_{1-y}(\text{A})_y$ 、但し(Aは、Mn, Ni, Zn, Mg, MnMg, MnZn, NiZnの各フェライト、とMnO, NiO, ZnO, MgO, Fe_2O_3)の各種組成物を温度と雰囲気を変えて焼結し、その電気抵抗を測定すれば良いはずだ。

この実験は既に殆ど終わりに近く、データの整理もかなり進んでいたの、数日で次の結論、

- ① 微量の $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ を含む Mn, Ni, Zn, Mg, MnMg, MnZn フェライトが焼結雰囲気が大きく電気抵抗が変化するのに対し、比率を変えた CaO と SiO_2 や $(\text{Ca}_{0.85}\text{Si}_{0.15}\text{O}_3)_{30\%}$ の残部を MnO, NiO, ZnO, MgO とした組成物は焼結雰囲気が大きく変化しても電気抵抗の変化が極めて僅かである。
従って、MnZn フェライトに CaO を添加したとき、結晶粒界高抵抗物質として高い比抵抗を持つ Mn・Ca 化合物(実際は SiO_2 も存在していたから、Mn・Ca・Si 化合物というべきだ)を主体とした固溶体が出来るとした Guillaud の説は、明らかに誤りである。
- ② 結晶粒界高抵抗物質が $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ と Fe_2O_3 とから成るとすれば、各種フェライトが焼結雰囲気大きく電気抵抗が変化するとは説明できるが、フェライトの種類による電気抵抗の差を説明できない。
- ③ 結晶粒界高抵抗物質が $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ と各種フェライトとから成るとすれば、各種フェライトが焼結雰囲気大きく電気抵抗が変化することや、フェライトの種類による電気抵抗の差を説明できるから、結晶粒界高抵抗物質は $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ と各種フェライトとから成る組成物である。
- ④ $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ を含む各種フェライトの電気抵抗がピークに向けて上昇する側のフェライトが n 型半導体であればピークを越えて下降する側のフェライトは p 型半導体であり、電気抵抗がピークに向けて上昇する側のフェライトが p 型半導体であればピークを越えて下降する側のフェライトは n 型半導体である。実験的に立証することは殆ど不可能であろうが、n 型 p 型の半導体の種類が転換するピークでは恐らく絶縁物のような高比抵抗値を示すであろう。ピークが二つある場合も同様である。また、焼成温度・雰囲気によ

ってフェライトの抵抗値が変化したりピークを示す組成が変化するの、焼成温度・雰囲気によって n 型 p 型の出来る組成範囲が変化したり、出来る半導体の性質が変化するためであろう。

を纏める事が出来ました。

半導体としてフェライトを扱って見ようと考えて、高純度原料の入手からスタートしたネフェライトの研究は、高純度原料を用いた第一回目の実験で損失が極めて大きい MnZn フェライトしか得られず、完全に失敗して以来、半導体の三文字を完全に忘れてきました。最後に近くなって、 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 同時添加によるフェライトの電気抵抗ピークの説明に n 型 p 型の半導体が必要となったことに、何か因縁めいたものを感じたものでした。

各種フェライトに $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ を添加したとき、電気抵抗が変化した実験結果を論文にするのに若干時間を要しましたが、結晶粒界高抵抗物質の電気抵抗の実験結果を携えて次に岩瀬先生にお目にかかったのは、2月の下旬学士会館でした。

実験結果について縷々説明を申し上げましたが、先生はこれに対して特に何も仰しやられませんでした。

そして先生は、『今日持ってきた論文を「フェライトの粒界析出物と電気抵抗(第一報)」¹⁾として主論文の第一部とする。『粉体および粉末冶金』への投稿は京都に戻った時にしておく。

$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 同時添加によってフェライト電気抵抗が増加するのは、結晶粒界に高抵抗薄層が生成するためで、結晶粒界に出来る高抵抗薄層がどのような物であり、どうして出来たかなどについて、考察を加えて纏めた論文を主論文の第二部として、「フェライトの粒界析出物と電気抵抗(第二報)」²⁾として『粉体および粉末冶金』への投稿とすることにしよう。

主論文の第三部は、 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 同時添加によってフェライトの電気抵抗が増加するのは、結晶粒界に高抵抗薄層が生成するためということを、モデルを用いて解析した結果を英文で作成し、適当な学会誌に発表する³⁾。

主論文の第四部は、MnZn フェライトに $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ を同時に添加することが、磁気特性及び結晶組織に及ぼした影響について、英文にまとめたものを金属学会の英文誌に投稿するものにする⁴⁾。

参考論文のその1は、二つの結晶の粒界を挟んで電気抵抗を測定した論文⁵⁾、その2はオートラジオグラフについての論文⁶⁾とし、適当な学会誌に発表する。

以上の各論文は出来次第郵送しなさい。また既発表の論文で参考論文になりそうなものも郵送しなさい。論文が全部完成した後に、もう一度会うことにしよう。』と仰いました。

最後の実験についてご意見が聞けなかったことは、残念ではありましたが、兎にも角にも後は論文を書くだけということにほっとした気持ちで、先生のお部屋を辞しました。

2.10 論文の作成

英語の論文は、語学の得意な辻君(俊郎、後日本電気株式会社中央研究所材料研究部長、NEC環境エンジニアリング株式会社社長、現戸田工業株式会社取締役)に英文作成に協力して

もらいました。特に高抵抗薄層が結晶粒界に存在するモデルで解析した論文²⁾は、辻君が計算を担当してくれ内容を良く知っていましたので、この点に力点をおいてと指示しただけで、日本文を示さず、直接英文にしてもらい、出来た後で多少の修正を指示しただけでした。寄与度から考えて当然辻君との連名とすべき論文でしたが、学位請求の主論文でしたので、辻君には我慢して貰いました。

殆どの論文は、実験事実を整理して若干の考察を加え、緒言と結論で体裁を整えれば良かったので、作成にあまり時間を必要としませんでしたので、これらの論文は出来次第先生のところへ郵送しました。

しかし、主論文の第二部として『粉体および粉末冶金』へ投稿する予定の「フェライトの粒界析出物と電気抵抗(第二報)」の作成は難航しました。考察を進めようとする、それまでに実験した結果だけではどうしても論理が繋がらず、その間隙は推測で補う外ないところが幾つか出てきました。以前の私なら、何の躊躇もなく推測を交えて論を進めたでしょうが、短期間ではありましたが、岩瀬先生にご指導を受けた後の私にはそれが許せませんでした。結局、(ネフェライトの研究の時には当然のように省略しであろう)明らかに結果が予測される(と思われた)実験もきちんと補足実験しました。その結果「フェライトの粒界析出物と電気抵抗(第二報)」を速達で発送した後、ご都合を伺い、東京で先生にお目に掛かったのは4月の下旬になってしまいました。

苦心して書いた「フェライトの粒界析出物と電気抵抗(第二報)」は赤鉛筆だらけの惨憺たる状態でした。液相焼結に関する部分は実験データを含めて全文削除、半導体に関する部分も実験データを含めて殆ど全文削除され、ごく一部が残るだけ、そのほか考察結論の部分の語句は殆ど全部修正という状態でした。

先生は、『論文を発表する目的は二つある。第一は自分の仕事を人に知らせること事で、第二はこの分野の仕事は非常に面白くまだまだ興味ある仕事が残っていることを人に知らせ、この分野に後進を誘うことにある。第一の目的は誰でも知っているが、あまり人が言わない第二の目的の方が本来は重要である。その為には、誰某が通った後は草一本生えていないと言われるような論文は書くものでない。削除したのはその意味で、今後のこともあるから良く考えておきなさい。』また『考察結論の部分に、……だ、……である、……に違いない、という言葉が多数ある。実験の結果を記すのにはこの様な用語を用いても良い。しかし、わずかな実験しかしていないのに、考察結論の部分にこの様な断定的な言葉を使うのは人間として不適である。この様に断定できるのは神様だけだ。人間は神様ではない。今後注意しなさい。』とも仰いました。

その他の論文は、断定的な言葉を使うのは人間として不適という意味での語句修正が多少あっただけでした。

先生のところから戻り、早速論文の修正に掛かりました。主論文の第二部の「フェライトの粒界析出物と電気抵抗(第

二報)」の修正は、かなりの困難が予想されますので後回しとして、まずその他の論文の修正に着手し、修正の終わった論文は先生に郵送しました。

予想通り「フェライトの粒界析出物と電気抵抗(第二報)」の修正は難航しました。何しろ目玉というか最も中心であった、液相焼結に関する部分は実験データを含めて全文削除、半導体に関する部分も実験データを含めて殆ど削除でごく一部が残るだけという状況でしたから、修正というよりは書き直しでした。

何とか辻君が合うように論文²⁾を仕上げて、次に先生にお目に掛かったのは5月の終わりでした。このときも、全く無傷という論文はありませんでしたが、修正が終わった論文は、改めて見せる必要はないから、そのまま投稿するようにとのお言葉でした。問題の「フェライトの粒界析出物と電気抵抗(第二報)」は先生が投稿の手続きをして下さるとのことで、お願いしました。

2.11 論文審査請求・教授会・学位授与

6月下旬になって、岩瀬先生から、『学位論文審査の請求を下さい。具体的な手続きについては可知君高田君と相談下さい。』との電話がありました。

高田先生に手取り足取り細かいことまで教えて戴いただけでなく、必要な書類の準備までして戴いて、論文審査請求を終ったのは、6月も末のことでした。

秋には、論文審査のための理学部教授会に呼ばれました。教授会では、主査をして下さった可知先生が学位申請論文の内容要旨を、既に配布されている試料に基づいて説明され、続いて各教授方の質問に私が答えるという段取りでしたが、可知先生の説明の後、『大変なお仕事ですが、随分かつたでしょうね。』という質問がありました。まさか半年と答える訳にも参りませんから、『はい、かなりかかりました。』とお答えしました。他に質問がありませんでしたので、そのまま、教授会から退席しました。

夜、高田先生とお酒を飲んでいる席に、後から合流された可知先生から『教授会は、通った。』と聞かされて、後はお祝いの会になりました。席上、昼間の論文内容の要旨が簡にして要を得た見事なものでありましたので、可知先生がお書きになられたのか？と質問しましたら、筆者は高田先生ということでした。高田先生が書かれた原稿を岩瀬先生にお見せした時、岩瀬先生は、『手を入れるところが、全く無いではないか。』とご不満のご様子であった、とのお話が出て、岩瀬先生の岩瀬先生らしいご一面を知りました。

昭和37年2月、京都大学で理学博士の学位を授与されました。

後年、亡くなられた岩瀬先生の遺品を整理された高田先生から、先生のノートに学位の面倒を見られたお弟子さんの名を列挙された末尾の行間に明石雅夫の名が追加記入されていたことを知らされました。『おっちゃんを最後の弟子と考えておられたらしいよ。』という高田先生のお言葉でした。有難いことです。

学位を戴いた直後に、尊敬していた先輩から、『おめでと

う。』の祝詞に続いて、『どのくらい掛かった?』という質問を受けました。『確か7,500円でした。』と答えましたところ、『それは論文審査の手数料だろう。聞いているのは、先生方にいくらお礼のお金を包んだかということだよ。』といわれました。『え…、お金のお礼をするんですか。』という私に、先輩は『君はお礼もしなかったのか。』と呆れられました。高田先生に、『お金でお礼をするのが習慣か?』と伺いましたが、高田先生は『そんな習慣はない。』とのことでしたので、そのままにしています。しかし、岩瀬先生をお訪ねする時くらい手土産の一つも持っていくのが礼儀だったかなあと考えたり、そんなことをすれば岩瀬先生は烈火のごとくお怒りなられたらと思うたり、未だに判断がつきません。

3 終わりに

以上長々と学位論文作成の経過を書きましたのは、岩瀬先生の2つのお言葉を皆様知って戴きたかったのが第一の目的です。

そのお言葉の一つ『論文を発表する目的は二つある、第一は自分の仕事を人に知らせることで、第二はこの分野の仕事は非常に面白くまだまだ興味ある仕事が残っていることを人に知らせ、この分野に後進を誘うことにある、第一の目的は誰でも知っているが、あまり人が言わない第二の目的の方が本来は重要である。その為には、誰かが通った後は草一本生えていないと言われるような論文は書くものでない。削除したのはその意味で、今後のこともあるから良く考えておきなさい。』は、正直に言えば当時は非常に不満でした。学位論文を指導して下さっている岩瀬先生のお言葉なので、止むを得ず、不承不承、液相焼結に関する部分の実験データを含めて全文削除、半導体に関する部分もごく一部を残し実験データを含めて殆ど削除を行いました。

後年、高田先生から『坂東君(その頃は、会えば挨拶をする程度の交際しかなかったもので、当時の地位は不明、後京都大学教授・名誉教授・当協会14代会長、現岡山理科大学教授)が、液相焼結について非常に良い仕事をした。』と伺いました。

あの時不完全な形で液相焼結に言及していたとすれば、坂東先生の液相焼結の研究は実施されなかったかもしれないことを思えば、岩瀬先生のお言葉はこのことを言われたのだと、改めて得心したことがありました。(後に、液相焼結に関する坂東先生の初期の論文2篇に、先生と連名で明石の名が記載されていたことを知りました。この2論文で先生に協力した事実は全くありませんから、坂東先生がご自分で明石を連名とされる筈はありません。何方かが明石を連名とするよう坂東先生に強要し、坂東先生が嫌々それに従い明石を連名としたとしか考えられません。液相焼結について明石が仕事をされたことをご存じなのは岩瀬・高田の両先生お二人だけです。お二人のうちの何方がそのようなことをしたのか坂東先生にお尋ねしたことがありましたが、坂東先生は記憶にないとのことなので、今となっては調べようもありません。)

岩瀬先生を良く知っている方に、先生のこのお言葉の話を

致しました時『自分では、岩瀬が通った後は草一本生えていないと言われるような論文は書いておきながら、……』という方が居られました。先生もお若い時にはこのお言葉とは違っておられたのかもしれませんが、しかし、晩年この様にお考えになられていたことは間違いありません。若い人に先生のお言葉のようにせよというのは或いは無理かもしれません。しかし、ある程度世間での評価も定まり相応の地位も得られた方が論文を書かれるときには、先生のこのお言葉を噛み締めて戴きたいと存じます。

フェライトの電気抵抗を半導体の見地から追及した研究は、その後もないと思っています。液相焼結の場合のように全文削除でなく、図一枚、4行ほどの説明が残ったことがかえって良くなかったのではないかなどと考えたりしています。

先生の第2のお言葉『考察結論の部分に、……だ、……である、……に違いない、という言葉が多数ある、実験の結果を記すのにはこの様な用語を用いても良い。しかし、わずかな実験しかしていないのに、考察結論の部分にこの様な断定的な言葉を使うのは人間として不遜である。この様に断定できるのは神様だけだ。人間は神様ではない。今後注意しなさい。』を忠実に守って書いた論文は、可知先生に『蚤の金玉を八つ裂きにして顕微鏡で覗いたような実験をした上で、ではあるまいかという小憎らしい論文だ。』と言わせる論文になりました。学位論文だけでなく、以後何かを書く場合に常に『人間として不遜』という先生のお言葉を思い出し、部下後輩の書いたものを見るときにも、同様な注意を部下後輩にするよう心掛けてきました。

この解説を書いた第二の目的は、ネフェライトの研究と学位論文のための研究を経験して、学問としての研究と企業に必要な研究とは、同じ研究という言葉で表現されてはいますが、全くと言って良いほど異質だという私の実感を披瀝して皆様のご意見を戴きたいということにあります。

『研究に多額の投資を続けてきたが、研究の効率が低く、投資に見合う成果が得られていない。』という大企業経営者の嘆きを最近良く耳にしますが、大企業の研究指導者と研究者が、学問としての研究と企業が必要とする研究とは異質であるということを、知らないか、知っていても軽視していることに、企業の研究の効率が低い原因の一つがあるように思われてなりません。

現在の大企業の研究指導者と研究者の殆どは大学院の修士・博士課程修了者で構成されています。この方々は学問としての研究については充分な知識と経験とをお持ちです。しかし、学問のための研究と企業が必要とする研究とは異質である、ということを、大学で教えられた方は皆無でしょうし、企業に入ってからでもこのことを明確に指導された経験を持つ人も少ないのではないかと思います。

真理の探究を目的とする学問のための研究は、なぜ?

どうして?を追求することから離れることが出来ません。

然しながら、企業が必要とする研究には、なぜ?どうして?を追求することは本質的には不必要なのです。

研究によって新製品を生み出し、それを販売して利益を得ることが、研究に投資する企業の目的です。従って有用な新製品が生まれ、その新製品を安定して量産できる製法が確立しさえすれば、先ず研究は成功したといえます。なぜ新製品が得られたか？新製品が優れた性能を示すのはなぜか？などということを知る必要は企業の研究には全くありません。

新製品やそれを作るための製法・装置・原料の特許を得て、同業者の追随を振り切ることが出来れば十二分の成果といえます。発明が新規性を持ち(特許法29条①・29条の2・30条)、進歩性を有し(特許法29条②)、産業に有用であれば、特許法は特許発明と認めます。特許法は、何をこうしたらこうなるということや、こうなった結果が産業に役立つということについて詳細な説明を要求します。しかし何をこうしたらなぜこうなるか？という説明を特許法は一切要求しません。特許法はなぜ役立つものが得られたのかが分からなくても、役立つものを得るために何をどうすればということが明らかならばそれでよいのです。その意味からもなぜ？を追求する必要は企業の研究にはありません。

間違って作った試料を捨てるのはもったいないと実験したことが新発見・ノーベル賞に繋がったとノーベル賞を戴かれた田中耕一さんが話されたことを新聞紙上で知りました。田中さんは新発見を特許にされたそうですが、間違って作った試料がなぜたんばく質の質量の精密測定に有用なのかという根拠を明らかにした上で特許出願をされたのか、それともそのようななぜの追求は後回しにしてこうすればたんばく質の質量の精密測定が出来るということだけで特許出願をされたのか、知りたいものです。ノーベル賞に繋がるような新発見ですから、企業としては特許の成立を急いだはずで、特許法上では必要のないなぜの追求は後回しにしてこうすればたんばく質の質量の精密測定が出来るということだけで特許出願をされたと思うのですが。

企業の研究になぜ？どうして？の追及を絶対にしてはならないといっているのではありません。なぜ？どうして？の研究を必要最小限度にとどめるのが、研究速度を早め研究効率を高めるために必要だといいたいのです。

ネフェライトの研究でなぜ？どうして？と考えたことが三度ありました。一つは高純度原料では電気抵抗が低く損失がとてつもなく大きいMnZnフェライトしか得られなかった時で、CaO添加効果の発見で乗り越えました。二つ目はCaOを添加しているのに、損失特性が良いもの悪いものが出来て安定しなかった時で、CaO・SiO₂同時添加効果の発見で乗り越えました。(詳細は本誌48巻10号「ネフェライト」)三つ目は量産に用いる混合装置開発のため、装置大型化のための実験中のことでした。量産用混合装置の処理量は実験用の10000倍以上が必要でした。実験用ポットの30倍の処理量では問題は何も無かったのですが、実験用ポットの1000倍の処理量ではどうしても実験の場合のような混合が出来ません。この時は新しい管理項目を調節出来るように装置を改造して乗り切りました。この新しい管理項目について触れている論文書物

は管見の限り当時はありません。その後実験用ポットの10000倍の処理量のボールミルを設計製作しましたが、全く問題はありませんでした。

ネフェライトの研究で、なぜ？どうして？を考えた以上三つの場合は、いずれも従来の知識と研究の結果からでは、一歩も前に進めない壁に突当たった時に、打開策を求めるためでした。そして、その対策が得られた後は、それ以上のなぜ？どうして？の追及は致しませんでした。

ネフェライトの研究が完了し、全体がある程度明らかになって後でさえ、CaO・SiO₂同時添加効果のなぜ？どうして？を追及するための岩瀬先生の宿題を消化するために、10人に近い研究員と30人を超える研究補助員を抱えるフェライト研究グループの半年に及ぶ献身的な協力が必要でした。

3人でスタートし、まだ弱小であったネフェライトの研究グループが、途中でなぜ？どうして？の追求に走ったならば、恐らくネフェライトの研究は途中で挫折し、完成することは無かったでしょう。

学問のための研究と企業の必要とする研究の違いは、なぜ？どうして？を徹底的に追求するか、速度を重視してなぜ？どうして？の研究を必要最小限度に止めるかにあるというのが結論です。企業が必要とする研究には、なぜ？どうして？を追求することは本質的には不必要といったのは、両者の差異を鮮明にするために、敢えて強調した極論です。

長くなりましたので、この辺で筆をおきます。最後になりましたが、岩瀬先生の深いご恩に感謝の意を表すると共に、高田先生の的確なご助言と可知先生のお骨折りに感謝いたします。また岩瀬先生の宿題に答えるための膨大な実験に献身的な協力を惜しまなかった当時の部下の方々に改めて有難うと申し上げます。

文 献

- 1) T.Akashi: "Effect of Impurities on Grain-Boundary of Ferrites and their Electrical Resistivities (Part I)", J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, 48(1961)101-112.
- 2) T.Akashi: "Effect of Impurities on Electrical and Dielectric Properties of Manganese Zinc Ferrites", OYO BUTURI, 30(2) (1961).
- 3) T.Akashi: "Electrical Resistivity of the Grain Boundary in Mn-Zn Ferrite", OYO BUTURI, 30(9)(1961).
- 4) T.Akashi and Y.Onoda: "Autoradiograph of Mn-Zn Ferrite Slightly Doped by ⁴⁵CaO", OYO BUTURI, 30(8)(1961).
- 5) T.Akashi: "Effect of Impurities on Grain-Boundary of Ferrites and their Electrical Resistivities (Part II)", J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, (1961)195-209.
- 6) T.Akashi: "EFFECT OF THE ADDITION OF CaO AND SiO₂ ON THE MAGNETIC CHARACTERISTICS AND MICROSTRUCTURES OF MANGANESE-ZINC FERRITES (Mn_{0.68}Zn_{0.21}Fe_{2.11}O_{4+d})", TRANSACTIONS OF THE JAPAN INSTITUTE OF METALS, (1961).