

# 従来の200倍の電流量の『超電導ケーブル』

住友電気工業（株）超電導製品開発部 林和彦 応用開発部長に聞く

（聞き手＝金属労協・渡辺美知夫）

1980年代後半に「超電導ファイバー」が起きた。これには電線の電気抵抗をゼロにして送電ロスを防ぐ新技術として、多くの企業が参入したが、技術的ハードルのあまりの高さに開発を断念する企業が続出。ブームは瞬く間に過ぎ去った。その「超電導技術」への参入から40年、地道に研究し続け、ついに工業製品としてグローバルスタンダードに持ち込んだ企業が日本にある。それが住友電気工業である。超電導ケーブルの技術開発と生産で世界をリードする同社の大阪製作所には、世界から受注が入り、年産500キロメートル生産能力を2倍に拡大しようとしている。今回は、この「超電導ケーブル」の開発を推進する同社応用開発部長の林和彦さんにお話を伺った。

「まず「超電導ケーブル」の仕組みと超電導の歴史についてご説明をお願いします。」

林 超電導ケーブルの「超電導」とは、「電気抵抗がゼロの状態」を言います。超電導体を冷却していくと、ある温度で突然、「電気抵抗がゼロ」になります。この電気抵抗がゼロに変わる温度を「臨界温度」と呼びます。臨界温度の単位はK（ケルビン）を用います。0ケルビンは摂氏で言

うとマイナス273℃になります。「電気抵抗ゼロ」の状態とは、電気抵抗がゼロなので、電流を一度流してやるとそれを妨げるものが存在しないので、例えば超電導のリングを作り、これに周回電流を流すといつまでも弱まることなく回り続けることになります。

## 超電導の歴史

林 超電導の歴史を振り返りますと、昨年2011年は、超電導現象の発見から100年の節目でした。

最初、1911年にオランダのカマリン・オンネスが水銀で超電導現象を発見しました。その時の水銀の臨界温度が4.2K（マイナス268.8度）でした。奇しくもこの1911年に住友電工が創業しました。1957年にバーディン、クーバ

1、シュリファーの3人の学者が、「超電導がなぜ起こるのか」を説明する3名の名前の頭文字を取ったBCS理論を発表しました。

1911年にオンネスが水銀で超電導現象を発見した時から1986年までの75年間は、超電導体の臨界温度は20K（マイナス253℃）当りをうろうろしていました。

1986年に「高温超電導材料」が発見されるまでは、超電導体は液体ヘリウム（沸点が4K・マイナス268.8℃）を使って冷却するのが常識でした。これを「低温超電導体」と言っています。

## 超電導の夜明け

林 1986年にベドノルツ、ミューラーが銅と酸素を含む酸化物において40K、マイナス233℃とい

林和彦氏



う比較的高温で超電導が起きる「高温超電導物質」を発見しました。初

めはこの発表を誰も注目しなかったのですが、同年、東大の田中グループが追試験を行い、「高温超電導物質」の確認をしたことにより一躍脚光を浴びるようになりました。翌1987年には、米国ヒューストン大学のチュー博士が希土類系(Y-Ba-Cu-O)高温超電導物質

(90K、マイナス183℃)を発見、遂に液体窒素の沸点(沸点が77K・マイナス196℃)以上で超電導になる物質が発見されました。更に88年には日本の金属材料技術研究所の前田博士がビスマス系(Bi-Sr-Ca-Cu-O)高温超電

導物質を発見し、この液体窒素の沸点以上の高温で超電導になることから、「高温超電導」と呼ばれています。窒素はヘリウムと違って、空気中にふんだんにある安価な物質なので、液体窒素の冷却によって超電導になる物質「高温超電導体」が見つかったことで、世界中で「高温超電導ブーム」がわき起こり超電導への期待は一挙に高まりました。これが「超電導の夜明け」と位置づけられています。昨2011年が高温超電導発見からちょうど25年を迎えました。

―住友電工が最初に超電導に取り組

み始めたのはいつごろですか？

林 住友電工が、最初に超電導に取り組み始めたのは1963年のことで超電導現象発見から数えて40年のことです。その後、何度か事業化に挑戦しました。1980年代に日本の低温超電導線材の競争力がなくなってきた時に、1986年の高温超電導材料の発見があったのです。

住友電工としては、光ケーブルのパイロットプランを始めたのが、1972、73年のオイルショックの頃ですから、87年頃はもうほとんど通信ケーブルが銅からガラスに変わっていった時期でした。

そんな状況の中で、電線業界の中でも「高温超電導」について様々な話がありました。「電力のパワーを送る送電線もひよっとしたら変わっていくかもしれない」とか、「この勢いで超電導の温度が上がっていくと、もしも室温超電導などができたら、銅やアルミの電線はみんななくなってしまうかもしれない」とか、「通信ケーブルが銅からガラスに変わったような、電線でもすごい革命が起きるかもしれない」というような話があったて、86年暮から87年、特に高温超電導の臨界温度が液体窒素温度を超えた87年2月頃から世の中全体で「超電導フィーバー」が始まり、今ま

で超電導などやっていたいなかったメーカーまで参入してきたのです。そういう時代にあつて住友電工も全社をあげて、各地区の研究部門が取り組んでいる固有技術を駆使してどういう線材化ができるかトライしました。新しい物質が見つかる度に様々な線材化プロセスの適用を試みていました。

―林さんが超電導の研究・開発にたずさわられたきっかけは何ですか？

林 私が住友電工に入社したのが、1982年のことです。私自身学生時代から超電導に興味を持って研究してきました。住友電工に入った理由の一つも、超電導の研究・開発ができるからです。入社時はちょうど超電導MRIが立ち上がるかどうかの時でした。私の学生時代には、超電導応用で期待されていた核融合用のプラズマ閉じこめマグネットの開発が盛んになり、それに関する文部省による特別研究プロジェクトが始まっていました。私の大学にも予算が出てそのプロジェクトにたまたま私も参加したのが超電導との出会いのきっかけでした。

2種類の超電導線

林 その後いろいろな超電導材料が見つかった中で、今世界的に、ある

いは私ども住友電工もやっているものは二種類あります。いわゆる、ビスマス系高温超電導線と希土類系高温超電導線の2種類です。

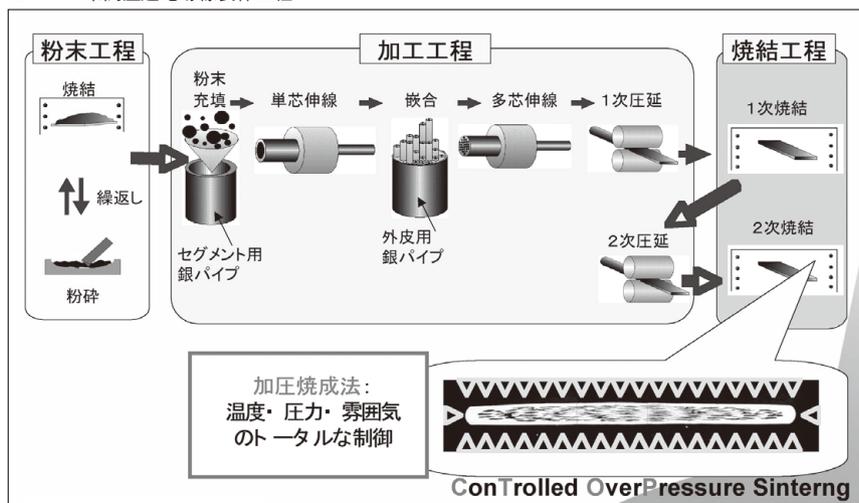
ビスマス系超電導材料は、日本発の技術です。住友電工は、この材料を世界で初めて長尺線材化し、すでにグローバルスタンダードとなっています。ビスマス系超電導材料とは、特にBi(ビスマス)―Sr(ストロンチウム)―Ca(カルシウム)―Cu(銅)の組成比が2…2…2…3

となる2223相は臨界温度が110K(マイナス163℃)と高く、発見直後から最も実用化に近い材料として注目されてきました。

### 加圧焼成法

林 しかし、この住友電工のビスマス系超電導への取り組みの歴史は決して平坦ではなく、常に撤退との隣り合わせでした。それでも諦めることなく、素材の組み合わせと生産方法の研究を進めた結果、2003年に転機が訪れました。不純物が極めて少ない超電導線の製造を可能にする「加圧焼成法」という新製法の開発に成功したのです。この新製法の導入以降、50アンペア以下だった電流量の上限は、飛躍的に伸び、今では250アンペアを実現しました。

ビスマス系高温超電導線製作工程



同じ太さの銅線と比較すると2000倍もの電流を流せるようになり、一気に実用化への目途が立ったのです。この開発も苦勞の連続でした。なぜなら、ビスマス系超電導体の結晶構造というのは複雑な化合物であり、かつ酸化物なのです。非常に難しく、結晶は板状になっており、電気が流れる方向は決まっています。電気を流れやすくするために板状の結

晶をいかに方向をそろえて並べるか、それから、酸化物でもろい材料をいかに曲げやすくするかがポイントでした。まず曲げられる構造をつくるのに、原料は酸化物で、最初は粉末状なのでこれを合成して金属と複合加工するので。金属としては、いろいろな理由があつて銀しか使えないのですが、銀パイプに粉末を詰めて伸線加工していきます。それをもう一度複数本まとめて外皮用銀パイプに詰めて、また加工していきます。一次圧延の後二次焼結し、さらに二次圧延の後に二次焼結をしていきます。そのようにロールで圧延することによってビスマス系超電導体は一本一本が15ミクロンくらいになり、リボン状に並び電流が流れやすくなります。髪の毛の太さが100ミクロン位なので、この位になると曲がりやすくなります。最後の工程で粉末を焼成する際に、回

りからガス圧をかけながら焼成する工程を加圧焼成法と呼んでいます。加圧焼成法でやると、もろい材料でも曲げることができるようになるの

です。実は、粉末を調整して焼き固める技術は、住友電工の昔からのコア技術の中にあつたのです。金属、あるいはセラミックスの粉末を焼結して、切削用具や複雑な金属部品をつくる技術において住友電工には80年以上の歴史があります。そして、伸線、圧延技術は、金属加工技術として昔から住友電工は持つています。この二つの固有の技術を合体化させて、ビスマス系高温超電導線の製作工程で加圧焼成法を行っているのです。この加圧焼成法も従来わが社が持っている技術を合体させて密度100%近くに持つて行き、冷却用の液体窒素が線の中に侵入せず、急速昇温しても膨れない、高強度、高耐久性を実現したのです。2004年に先ほどの加圧焼成法技術を導入した後に、流せる電流量がぐんぐんと上がり出しました。これが転機になりました。この加圧焼成法の技術の導入と確立により高温超電導材料が実験室の試作品から工業材料に変わったと言えます。そういう中で、先行しているビスマス系超電導線を私のいる開発部で事業化をしていこうとしています。まずは超電導というのはい物になることを証明して市場を切り拓いて

いきたいと考え、開発に取り組んでいます。本来線材の応用は重電メーカーの領域かもしれませんが、線材を最もわかっている住友電工自身からまずは、新しい応用も切り開いていこうと取り組んでいます。

一次に超電導技術の応用の進捗状況について教えてください。

超電導技術の応用としては、大きく4つに分けられます。①医療とバイオ技術、②産業応用、③電力応用、そして④移動体機器の4つです。これらは必ずしも全部が高温超電導を使っているわけではありません。一つは医療とバイオ技術です。MRIは超電導の民生品として一番使われているアプリケーションです。ただし、現在は低温度超電導で、ヘリウムで冷却されています。日本のヘリウム消費量の25%はこれで消費しています。このマグネットを高温超電導に変えようという試みも今行われています。今我々のビスマスを使って京都大学で開発実験が行われているところなんです。80年代に医療用超電導MRI(磁気共鳴画像装置)が普及し始めました。現在も毎年2千台位世界で売られています。二つ目は産業応用で、一番使われているものに、シリコン単結晶引き

**医療とバイオ技術**

MRI  
(核磁気共鳴断層撮影装置)



東芝殿HP

NMR  
(核磁気共鳴分析装置)



物材機構殿HP

**電力応用**

超電導ケーブル



100m/検証試験



350m/電力網接続



**超電導材料技術  
超電導機器技術  
冷却技術**

**産業応用**

永久磁石評価・  
製造装置



アルミ 押出ビレット  
加熱装置



**移動体機器**

超電導モータ船



リニア  
(JR東海殿HP)



超電導電気自動車



超電導技術の応用進捗

上げ装置があります。2社で日本のシリコンウエハーの6割以上を占めています。ここは超電導マグネットを使っています。また、アルミ押出ビレット加熱装置にも超電導が使われています。国内ではまだですが、ヨーロッパで使われ始めました。

三つ目は、移動体機器で、リ

ニアモーターカーに使われています。超電導で一番有名なのはJR東海のリニアモーターカーです。今、山梨で走っているのも、実は液体ヘリウム冷却のニユーブチタンなのです。2027年に東京—名古屋間、2045年には東京—大阪間が開通予定です。それから超電導モーター船や超

電導電気自動車などがあります。また、超電導ケーブルプロジェクトも世界各地で行われています。

—その超電導ケーブルの構造について教えてください。

林 超電導ケーブルの構造は、交流ですので、ケーブルは3相に分かれています。それを魔法瓶のような管に入れて、冷却する液体窒素を内側に流します。魔法瓶みたいところは二重のステンレス構造となっています。伝熱とは伝導と対流と輻射で起こりますので、二重管の中は真空状態にし、アルミ箔のよう

なもので反射して輻射をおさえます。これがケーブルとして曲がらなければいけないので、二重のステンレスにはコルゲート加工が施されています。出荷の際には、直径約2メートルのドラムに巻き付けます。

ケーブルの冷却はステンレスの二重管の内部に摂氏マイナス200度の液体窒素をポンプで一定流量で流しています。将来的に長距離線路のときは、温度が上がリ、圧力が下がるので、何キロかおきかに冷却設備が必要です。

—電力用の超電導ケーブルの特徴とメリットは何ですか？

林 超電導ケーブルのメリットは、一番大きいのは大容量・大電力を、コンパクトで、低送電損失で送れることです。超電導ケーブル1枚で200アンペア流せます。銅線の200倍の電流密度です。超電導ケーブルは少ない面積で大きな電流を流せて、かつ抵抗ゼロなので損失も無く、既存管路を使って本数を減らすことができます。また、普通の銅

アルミの電線は電流が大きいと抵抗で発熱しますので、普通大きな電力を送る時は電圧を上げて電流を抑えています。

超電導ケーブルの場合、大電流が得意なので例えば発電機の2万ボルトのまま都心部まで送ることも不可能ではありません。途中の昇圧や降圧の変電所も必要なくなるので従来の変電所を省略できます。

日本で発電する場合、出ていく電気と企業や家庭が電力会社から受ける電気のロスには5%あると言われています。そういうロスが超電導ケーブルにすることによって大幅に低減できます。その点、超電導ケーブルは複雑な構造で高価な一面もありますが、トンネルを新たに掘るコストを考えると特に都心部は高いので、コンパクトで既存管路を入れ替えるだけで大容量を実現できる超電導ケーブルの方がむしろ安いのです。



超電導ケーブルの構造

**世界初の超電導ケーブルの  
実践路試験、  
米オルバニー・プロジェクト**

林 米国・オルバニー・プロジェクトは2002年10月から2008年3月まで米国のニューヨーク州で実

施して成功したものです。

実は、最初は超電導ケーブルについては、1990年から東電と我が住友電工で超電導ケーブルについての共同開発を行ってきました。

21世紀になると都心の電力需要は2倍になると予想される。すると送電する電線も従来のものだと2倍の太さにしなければならぬ。そうすると既存の管路に入らないし、新しいトンネルを掘るうにも掘るスペースがないので、これはもう超電導ケーブルで行くしかないということ。共同開発がスタートしたわけです。それでスタートしたら、失われた10年に入ってしまい、経済が停滞し、電力需要も伸びず、電力は自由化が進み、設備投資が3分の1に減ってしまったのです。

今後、国内の電力需要はあまり伸びないかもしれませんが、電力ケーブルもやがては寿命が来て、更新需要が出てくることは間違いないので、電力会社からはその更新需要に備えて超電導ケーブルへの置き換えの準備を要請されています。

それで、住友電工としてはアメリカに出て、実験を行ったわけです。当時、アメリカのIT需要が増えたために、IT産業というのはコンピュータ技術が進んでいくと空調用

の電力とか、電力を大量に使います。2002年にオレゴンの水不足

があり、テキサスから電気も来ないので、シリコンバレーのあるカリフォルニアでは電力不足が起きて電力危機が起きました。それでアメリカとしては、発電機をたくさん作りました。しかし、ここで問題が起きた。発電機が増えても、電線が元の古いままだったので。それで2003年8月14日のあのニューヨークを中心とした北アメリカ大停電が起きたのです。アメリカの電線の場合、日本とは比較にならないほど古く、30年、40年どころではなく、第二次大戦の被害も受けていないので、1930年頃のエジソンの時代にまでさかのぼるものもあります。

そういう電力事情を改善するため、住友電工は、ニューヨーク州のオルバニー市で米国エネルギー省とニューヨーク州からの援助を受けて、オルバニー・プロジェクトを2002年11月からスタート。2004年には超電導ケーブルを製造、2005年には2変電所間の管路にケーブルを敷設。2006年7月から世界で初めての超電導ケーブルを使っての電力供給試験をスタートさせ、無人運転で7万家庭に電力を供給したのです。これが世界で初めて

超電導ケーブルを電力系統につなげて動かした例でした。

この成功を受けて、2010年台後半には、そろそろ高度成長期に布設したケーブルの更新時期が来るので、東電としても日本でも高温超電導をやるうと言うことで始めたのが、横浜市にある東京電力の旭変電所の敷地内で日本初の実線路における超電導ケーブルをつなぐ送電システム実証プロジェクトです。この送電システムを現在建設中で、今年11月に送電を開始する予定です。

40年間の開発のご苦労と、諦めることなく、開発を続けること可能にした原動力は何だったのですか？  
林 新しい技術は常に撤退と隣り合わせです。光ケーブルのときも、そ



米・オルバニー・プロジェクトで使用した超電導ケーブルについて説明する林氏

うですが、あのときは、会社に来てもすることが無かったこともあると先輩から聞いています。超電導は現在、三世目目と言われています。いつ事業化するかという質問を良く受けますが、省エネ効果を実際に見えるような形で民間で示せると、もっと活用の場が広がると思います。

我々の開発部は5年前にできましたが、本当の意味での事業部になる前の過渡期の開発部でありますから、いろいろな部署から集まってこれからもチームワークよく、開発に取り組んでいきたいと思えます。

これからの超電導ケーブルの技術のいろいろなどところへの応用や、日本のものづくり技術のチャレンジ、夢と抱負について教えてください。

林 私今年55歳になるので、学生時代から数えると32年間、超電導の仕事に携わってきました。入社して5年は違う仕事をしていましたが、超電導を希望してやらせてもらって、ここまでやってきたので、何とか我々超電導三世目目としてここまでやったらものにしたと思います。いろいろな種まきはしたので、一つ一つものにしていきたく念願しています。

(文責・編集 金属労協組織総務局)