

超伝導デバイスの電総研における研究開発

早川尚夫

旧電子技術総合研究所

1) 事の発端

当時、私の勤めていた通産省工業技術院電子技術総合研究所（電総研）は現在のつくば市に移転する直前でした。所は昭和52年度の概算要求に「クライオエレクトロニクス研究室」という変な名前の研究室を要求していました。クライオ（cryo-）は低温を意味する接頭語でクライオエレクトロニクスは低温電子工学ということです。こんな奇妙な名前の研究室は一体誰がやるのかなと思っていましたら、所から呼び出しがかかって、お前がやれということです。晴天の霹靂です。「私は低温などやったことも見たこともありません」というと「誰がやっても同じだ」というのです。

実はこのことには裏があって、当時 IBM ではジョセフソン素子（薄い絶縁膜を2枚の超伝導体で挟んだ構造を持つ）を使ったコンピュータの開発をしているという噂がありました。当時の日本は IBM がくしゃみをすれば風邪をひくというくらい IBM の動向には敏感であったのです。したがってこのクライオエレクトロニクス研究室もジョセフソン・コンピュータの研究を行えということであったのです。研究室の名前からしてまだ世の中では全く知られていないクライオエレクトロニクス研究室を引き受けた次第です。

2) クライオエレクトロニクス研究室

昭和52年10月に研究室は基礎部にできました。研究室員は寄せ集めで5人程度であったと思います。それでも所は新人を一人つけてくれました。その人は東北大学博士課程出身で唯一低温をいじることが出来ました。

さて、研究室が出来て何をやるかということですが、最終目標が「ジョセフソン・コンピュータ」というとてつもない大きなものですから一朝一夕に出来るものではなく、やはり基礎的なものから入ることにしました。それは「ジョセフソン素子を集積する」ということでした。当時は、「ジョセフソン素子を集積する」という概念は日本にはなく単独の素子を計測に使うという研究はありました。

ジョセフソン素子を作るにはまず超伝導体を探さなければなりません。先輩の IBM では鉛を使っているということで我々も鉛を使ってみることにしました。鉛の超伝導転移温度は-269度で、ヘリウム温度-273度で使えるからです。しかし、鉛には大きな問題点がありました。それは、素子をヘリウム温度から室温に戻すと熱歪によって壊れてしまうという機械的に弱いことです。IBMはこの問題を、鉛を合金化することによって和らげていました。これは鉛にインジウム、金を加えるというものでした。

我々も鉛合金素子を作ってみました。確かに鉛だけの時は1回の温度サイクルで壊れてしまったのですが、合金化すればそういうことはなく強くなっていました。しかし、素子

を100個集積した場合必ず1個は壊れているという脆弱性がありました。このことは後になって大きな問題となったのです。

我々は初めからもう一つの材料に取り組んでいました。それは機械的にも強い窒化ニオブという材料でした。超伝導転移温度が -256 度で鉛より高く、機械的強度も十分に強い材料でした。この材料を用いて、素子化及び集積化の研究を行なったのです。当時ニオブ系素子は大変むつかしく世の中に現れていませんでした。このニオブ系素子技術の開発に取り組んでいたことが後になって大変役にたつことになったのです。

コンピュータの基本素子となるジョセフソン論理素子の研究もしていました。ここではIBMとは違う方式の素子（直接結合型論理素子）の開発を行いました。この論理素子のスピードを測りましたら、1論理素子当たり7ピコ秒（ピコ秒 $=10^{-9}$ 秒）と計測されました。これは当時世界で最も速い値でした。それでは新聞発表しようという事になって、発表しましたら、よっぽど他に記事がなかったのでしょう3大新聞をはじめほかの新聞に大々的に載ってしまいました。これが昭和57年3月のことです。

3) ジョセフソン・コンピュータ特別研究室

このように基本的なことをやってきましたが、本来の目的はジョセフソン・コンピュータを作るといってつもない大きなテーマであって、これまでの様なことを続けていても目的に近づかないではないかということになりました。

所長の発案で特別研究室を作ろうという事になりました。特別研究室は所のいろいろな部門から人材を集めてきて目標に向けて研究を行うタスクフォースのようなものです。

昭和56年7月にジョセフソン・コンピュータ特別研究室ができました。人材は、基礎部、材料部、デバイス部、制御部、計算機部から16名集められました。人材は集まったのですが何を研究してゆくかは大きな問題です。今までの基本的な研究にコンピュータのシステム的な研究が加わることになりました。

4) 大型プロジェクトになる

そうこうしているうちに、昭和56年に通産省はこの研究を大型プロジェクトに取り上げたのです。「科学計算用高速計算システムの開発」がそれで、今までのシリコン素子を用いたスーパーコンピュータに替わって、ガリウム砒素素子や、HEMT（ガリウム砒素素子に似た）素子、ジョセフソン素子を用いる計算機を開発しようというものです。ガリウム砒素素子やジョセフソン素子はシリコン素子に比べて高速で低消費電力であるからです。

大型プロジェクトは官・民共同で研究を進めるもので、このプロジェクトは富士通、日本電気、日立、三菱電機が加わっていました。民間企業もこの頃までにはようやくジョセフソン素子の研究を始めていました。

5) IBM 事件

大型プロジェクトが始まって1年余たった頃（昭和58年）、大変なことが勃発しました。いわゆるIBM事件です。IBMが続けてきたジョセフソン・コンピュータ開発プロジェクトをやめると発表したのです。このことは大変なことです。我々も驚きましたが、最も驚

くというより困ったのは通産省でした。同じように通産省もジョセフソン・プロジェクトを中止するとしたら、やっぱり真似をしていたんだと言われかねません。

我々も実は、IBM が中止をしたということは薄々そうなるのではないかと思っていました。それというのも IBM の中止の理由は「メモリ回路が動かない」が公式的理由でした。そういう結果になるのは当然だと思いました。それは、IBM はジョセフソン素子に鉛合金素子を使っていました。鉛合金素子だと純粋な鉛素子よりは熱サイクルに強いのですが集積すると 100 個に 1 個は壊れているというように信頼性がなかったのです。

この IBM ジョセフソン・コンピュータプロジェクトの中止の発表は世界的にも大きな影響があり、アメリカ、ヨーロッパでこの研究をやっているところは止めてゆきました。

さて、我が国の場合ですが、通産省の大型プロジェクトが始まって 1 年が過ぎたばかりでしたが、この IBM の発表は大きな動揺を引き起こしました。民間各社もそうでしたが、まとめ役の通産省も迷っていました。電総研は通産省の研究所ですからこういう時に意見を求められます。私は所長から意見を求められましたが、やめるのは嫌でしたから 'keep going' と言いましたら、所長もあっさり「俺もそう思っていた」と言いました。所長の話ではこのことでは所内もいろいろ意見があって大変だったそうです。

やめないのは良いのですが、続けるためには理由が必要です。IBM がやめたのは、そもそも鉛合金技術でジョセフソン素子を作っていたから回路が動かなかったからではないか。それではニオブ系技術を用いたら良いのではないか。ニオブ系ジョセフソン素子は集積技術も含めて当時我々がやっておりそろそろ成果も上がっていました。

ということで、IBM で使っていた鉛合金系集積技術に替え、ニオブ系技術を用いることでプロジェクトを続けることになりました。当時の民間では皆、鉛合金系技術を使っていました。そこで電総研でニオブ系技術を学ぶために各社から人を出すことになりました。電総研はニオブ系技術を各社に技術指導することで国立研究所としての役割を果たしました。ニオブ系集積技術は産業技術総合研究所になっても拠点として受け継がれ、研究所だけでなく大学等のためにジョセフソン回路の研究を行なっています。

6) その後の経緯

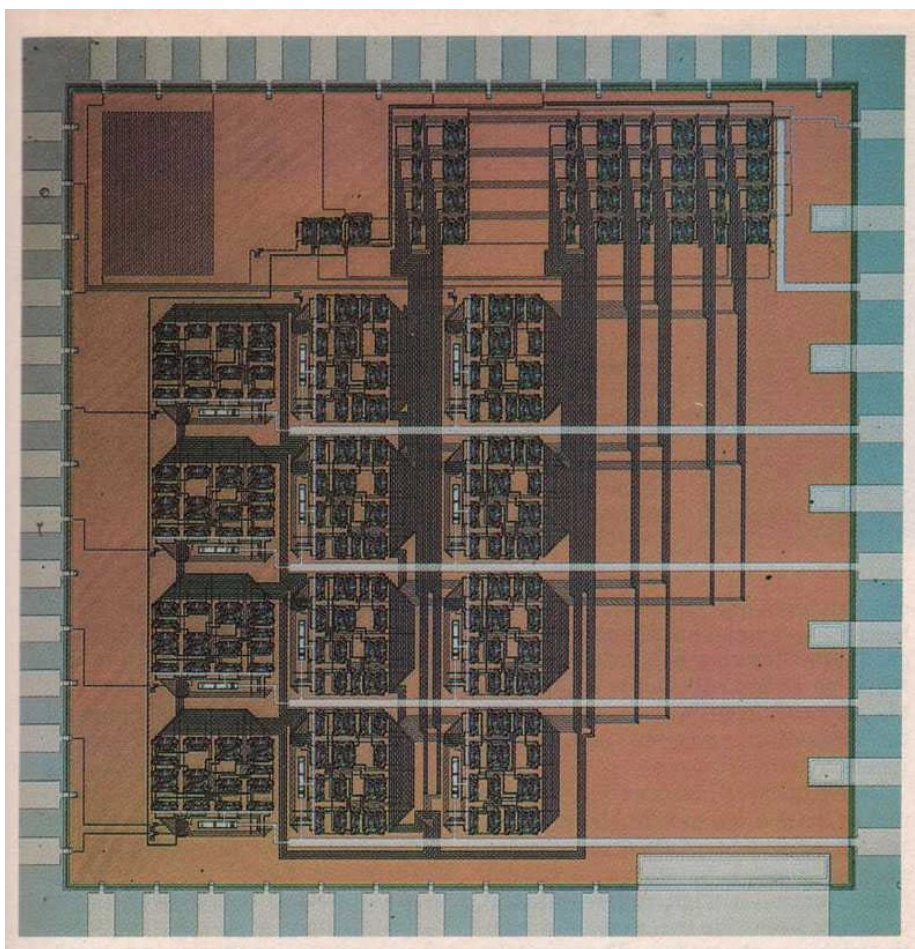
「IBM 事件」を無事に処理した頃（昭和 57 年）、我が国の科学技術の発展が世界的に注目され、その発展の象徴として筑波研究学園都市が取り上げられ、ミッテラン・フランス大統領、サッチャー英国首相等々が相次ぎつくばを訪れました。その時電総研が見学場所選ばれ、ジョセフソン・コンピュータ特別研究室の成果をお見せすることができました。

特別研究室は昭和 63 年まで続きますが、この間、研究は進んで、ニオブ系集積技術を中心にコンピュータ回路、システム研究も行い大型プロジェクトが終わる頃には小型のコンピュータを動作させることができました。

まだジョセフソン・コンピュータは実現していませんが、将来はスーパーコンピュータを高速で、低消費電力で動かすことを夢見て研究が進められています。現在のスーパー

コンピュータの問題点は電力消費にあります。スーパーコンピュータは発電所が一つ要るくらいとてつもなく大電力が必要になるのです。もしジョセフソン・コンピュータが実現すれば消費電力をほぼ百万分の一に小さくできるのです。

私自身は昭和 61 年に名古屋大学に移って研究を続けましたが、電総研時代の研究が楽しいものであったと思い出されます。今年の 3 月、電総研（現在は産業技術総合研究所となる）から、特別研究室時代の話をしてほしいかと頼まれ 28 年ぶりに行ってきました。建物は古くなっていましたが、どんどん新しい建物が出来て様相が変わっていました。あのジョセフソン研究も新しい建物に移って全国の大学および研究所のハブとして活躍していました。今後も新しい研究に挑戦して下さることを願って筆を置きます。



当時、ジョセフソン・コンピュータ特別研究室で作ったニオブ系ジョセフソン集積回路（8ビット乗算器）

著者略歴

1965 年 電子技術総合研究所入所
1977 年 - 1981 年 クライオエレクトロニクス研究室長
1981 年 - 1986 年 ジョセフソン・コンピュータ特別研究室長
1986 年 - 1998 年 名古屋大学工学部教授
1998 年 - 2004 年 名古屋大学大学院工学研究科教授

受理日：令和3年3月16日