後藤磁束量子情報プロジェクトの研究成果

目次

1. 均一磁場発生装置・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2

2. 磁束量子パラメトロン(QFP)素子・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4

3. QFP ディジタル回路・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7

4. QFP 論理回路・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9

5. QFP アナログ－デジタル変換器・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ １１

6. トラップ磁束検出移動技術・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ １３

7. 新冷凍機方式・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ １６

8. 超高真空装置・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ １８

9. 三次元インダクタンス計算方式・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ １９

10. 高感度磁束計・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ２１

11. 倍周波型磁束計・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ２３

12. 三次元実装技術・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ２４

13. 循環パイプライン方式・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ２６

14. 循環パイプライン計算機のソフトウェア・・・・・・・・・・・・・・・ ２７

15. 超高速計算機方式・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ２９

16. 多層膜応力解析技術・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ３０

17. 金属疲労評価技術・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ３２

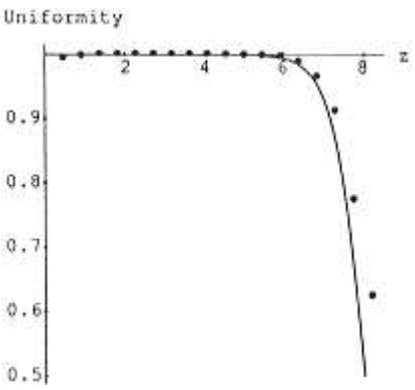
1.　均一磁場発生装置

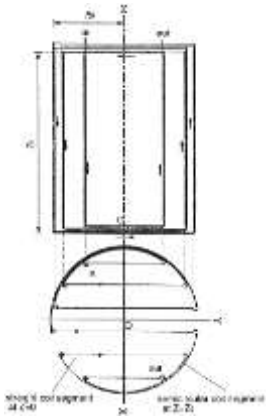
円筒状の強磁性体磁気シールド内における任意方向の均一磁場発生コイル

研究成果の概要

1）構造、性能

1. 軸方向一様磁場は、磁気シールド内径に沿って巻かれたソレノイドコイルにより発生。磁場の一様性は、シールドの上端から 3R の位置まで 1%以内[R は、シールドの半径。](図 1)。
2. 径方向一様磁場発生コイルは、x 方向コイルと y 方向コイルとを用いて合成する(図 2)。磁場の一様性は、シールドの中心軸から 0.7R の範囲で 1%以内(図 3)。





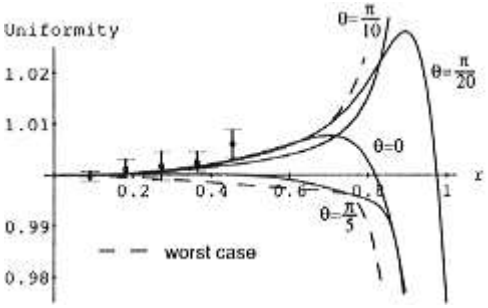


図 1　軸方向磁場一様性　　図 2　x 方向磁場発生コイル　　図 3　径方向磁場一様性

2）特徴

1. 強磁性体による磁場歪曲の影響を考慮した設計。
2. 円筒状磁気シールドの軸方向だけでなく径方向にも一様磁場を生成可能。
3. 磁気シールドの内径に沿ってコイルが巻かれるために、シールド内の空間を無駄にしない。

成果展開可能なシーズ、用途等

1）外部磁場に影響されない高精度一様磁場を任意方向に生成できる。

2）磁気シールドで遮蔽できない微弱な残留磁場をも打ち消すことにより、極低磁場環境の提供が可能。

特許出願

1）一様磁場発生コイル

特　　願：平 1-169110(平 1.6.30)特開平 3-34501

出　願　人：新技術事業団、後藤英一

請求の概要：円筒状の強磁性体磁気シールド内での任意方向一様磁場発生コイル。

報告書他

1）後藤英一、細谷睦：理研シンポジウム第 6 回ジョセフソンエレクトロニクス、「円筒状ヘルムホルツ コイル」

2）E.Goto,M.Hosoya:Reveiw of Scientific Instruments,
"Coils for generating uniform fields in a cylindrical ferromagnetic shield"

〔研究者名〕細谷睦

2.　磁束量子パラメトロン(QFP)素子

磁束量子を信号担体とし、スイッチング時間・消費電力ともに従来素子を遥かに上回る高性能素子

研究成果の概要

1）研究の背景

QFP は磁束量子と呼ばれる基本物理量を信号担体とする極限素子であり、従来素子の性能を遥かに上回る。本研究は QFP の基本動作を検証することを目的とした。このために、極微量のエネルギーを移動させる素子動作を妨げない測定方法の確立が必要であった。更に、この測定技術を使って、理論的に予測された素子性能を立証し、合わせて素子を応用する場合の基本を確立する必要があった。

2）研究の内容

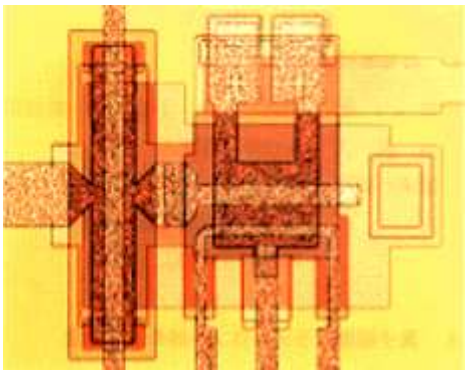
1. dc-SQUID を用いた QFP の測定方法

高感度磁束計である dc-SQUID をセンサーとして使い、QFP の動作に影響を与えない測定方法を確立した。本方法では、磁束量子の 1/100 程度まで測定分解能があり、直流から 20GHz 程度の高周波まで測定が可能である。

2）QFP の基本特性の検証

QFP の活性化特性(出力特性)を測定し、素子ばらつきによる特性の変化や、最適な素子設計条件を明らかにした。また、回路利得 20dB 以上を実現し、QFP の高利得特性を実証した。更に、5GHz で 1/2 分周回路を動作させ、QFP および測定方法の高速動作を実証した。

(図　QFP と dc-SQUID を用いた測定回路)



成果展開可能なシーズ、用途等

本研究は QFP 素子回路技術の原点である。この研究は以降の QFP 技術の何れにも応用されている。

特許出願

1）超電導スイッチング回路

特　　願：昭 62-11085(昭 62.1.20)特開昭 63-179622

出　願　人：新技術事業団、原田豊

請求の概要：電圧駆動型超電導三端子素子を使った QFP 回路。ゲート電圧を制御して 2 個のジョセフソン接合の最大超電導電流を制御し、接合のばらつきを吸収する。

2）超電導回路

特　　願：昭 62-24356(昭 62.2.4)特開昭 63-193612
出　願　人：新技術事業団、原田豊
請求の概要：電圧により臨界電流を制御する超電導三端子素子を QFP に使用した超電導回路であって、該超電導三端子素子のゲートに入力信号を印可することにより、入力信号と出力信号の分離を行う回路。

3）量子磁束パラメトロン回路の励振方法
特　　願：昭 62-53416(昭 62.3.9)特開昭 63-219220
出　願　人：新技術事業団、原田豊
請求の概要：電圧駆動型超電導三端子素子を使った QFP であって、該 QFP を励振した後に該三端子素子のゲートに臨界電流制御信号を印可して臨界電流を増加させ該超電導回路の出力信号を増幅させる超電導回路の励振方法。

4）量子磁束パラメトロン回路の信号検出方法
特　　願：昭 62-190900(昭 62.7.30)特開昭 64-35285
出　願　人：新技術事業団、原田豊
請求の概要：QFP の信号を検出するために dc-SQUID を使う方法。QFP の非励振時に dc-SQUID の直流オセフット補正を行う。

5）超電導回路
特　　願：昭 62-226202(昭 62.9.9)特開昭 64-68142
出　願　人：新技術事業団、原田豊
請求の概要：多相の正弦波交流励振電流で信号を正確に伝送でき、また雑音に起因する回路の不安定を排除。高速かつ高安定度の処理システム構築に有効。

6）超電導インダクタ
特　　願：昭 62-258606(昭 62.10.14)特開平 1-100980
出　願　人：新技術事業団、原田豊
請求の概要：グランドプレーンに開口を設けた形のインダクタに捕獲された磁束を追放する手段を提供。極低温素子を用いた超高速の計算機の実現に役立つ。

7）信号伝達および装置
特　　願：平 1-65183(平 1.3.17)特開平 2-244908
出　願　人：新技術事業団、原田豊
請求の概要：QFP の出力信号をステップアップ・ダウントランスを使って伝送する信号伝送方式。

《外国出願》

1) Superconducting Circuit
米国出願：US146160(Jan.,20,1988)
請求の概要：特願昭 62-24356 と同じ

2) Superconducting Circuit
米国出願：US242210(Sep.,9,1988)
請求の概要：特願昭 62-226202 と同じ

報告書他

1) Y.Harada,E.Goto and N.Miyamoto
Quantum Flux Parametron
Technical Digest International Electron Devices Meetin.p.389(1987)
2) N.Shimizu,Y.Harada,N.Miyamoto,M.Hosoya and E.Goto
Fundamental Characteristics of QFP Measured by the de SQUID
IEEE Trans.Electron Devices,Vol.36,No.6,p.1175(1989)
3) Y.Harada,W.Hioe and E.Goto
Flux Transfer Devices
Proc.IEEE,Vol.77,No.8,p.1280(1989)
4) Y.Harada,W.Hioe and E.Goto
Quamtum Flux Parametron with Magnetic Flux Regulator
IEEE Trans.Applied Supercounductivity,Vol.1,No.2,p.90(1991)

〔研究者名〕原田豊、清水信宏、Willy Hioe

3.　QFP ディジタル回路

QFP を基本デバイスとする高速ディジタル回路

研究成果の概要

高速な QFP 回路の実現のためには素子自体の高速化の他に、動作のタイミングを決める励振信号を供給する技術、およびノイズを低減して微弱な信号を伝える技術が重要である。これらについての研究成果をシフトレジスタ(写真 1.参照)を試作して実証した。

1) 技術の特徴

1. 回路チップ内で数 mm 離れた点の間を信号が光速で伝播することによって生ずる位相差をなくすために、励振信号線上に定在波を発生させる方式をとった。
2. 外部からのノイズや入力励振信号が出力線に誘起するクロストークを低減するために写真 2.に示すような低ノイズパッケージを開発した。

2) 成果

1. 16GHz4 相励振(1 段あたり 15ps に相当)での動作を確認(図 1.参照)。
2. 振幅 10mV 以下の信号を増幅し、5GHz 動作の実時間測定に成功。

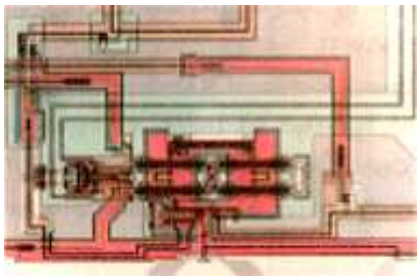


写真 1　シフトレジスタ回路

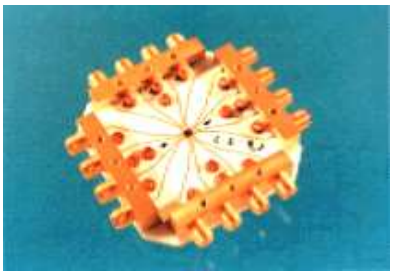


写真 2　高速測定用パッケージ

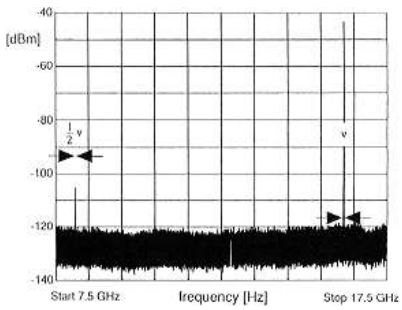


図 1　シフトレジスタ回路の 16GHz 動作特性

成果展開可能なシーズ、用途等

超高速を要するディジタル論理回路全般に適する。

特許出願

なし

報告書他

1) J.Casas,R.Kamikawai,Y.Harada,N.Miyamoto,H.Nakane,E.Goto,“Subharmonic Generators and Error De tection by Using the Quantum Flux Parametron”,IEEE Transactions on Magnetics Vol.27 No.2 pp2851- 2854(1991).

2) J.Casas,R.Kamikawai,N.Miyamoto,E.Goto,“Multigigahertz time-domain testing of the quantum flux paramet- ron”,Supercond.Sci.Technol.Vol.4 pp606-609(1991).

3) J.Casas,R.Kamikawai,N.Miyamoto,E.Goto“A Quantum Flux Parametron(QFP)Based 12-bit Shift Register Capable of Microwave Frequency Operation”Japanese Journal of Applied Physics Vol.30,No.12 pp3938 -3942(1991).
4) J.Casas,R.kamikawai,E.Goto“High Freqeuncy Operation of Quantum Flux Parametron (QFP) Based Shift Re- geisters and Frequency Prescalers”IEEE Journal of Solid-State Circuits Vol.27,No.1,pp97-105(1992).
5) ホワン・カサス、上川井良太郎、後藤英一:High Speed QFP Testing:理研シンポジウム、第 8 回 ジョセフソンエレクトロニクス p121(1991)

〔研究者名〕ホワン・カサス、原田豊、上川井良太郎

4. QFP 論理回路

(入力)マージンを改善した QFP 論理回路の設計と評価

研究成果の概要

1) 構成、特徴

1. Booster:交流電源で駆動される QFP の出力線に付加される QFP で、直流電流によりバイアスされるもの。ジョセフソン接合の臨界電流のバラツキに起因する雑音を増やすことなく、出力電流を増やすことができる。
2. Puller:QFP の励振線に付加される QFP で、直流電源によりバイアスされるもの。励振トランスの漏れインダクタンスの影響による励振特性の悪化を改善する。
3. VAQ(Variable Activation QFP):他の QFP の出力によって駆動される QFP。通常、puller を必要とする。
4. D-gate:2 個の QFP の出力により、2 個の VAQ の内のどちらか 1 方を励起する構成のゲート。論理式で書くと、D(s,t;x,y)=(s==t)x+(s!=t)y となる。入力のバラツキに対するマージンが多数決回路などのしきい値論理に比較して改善されている。

(図 1、図 2)

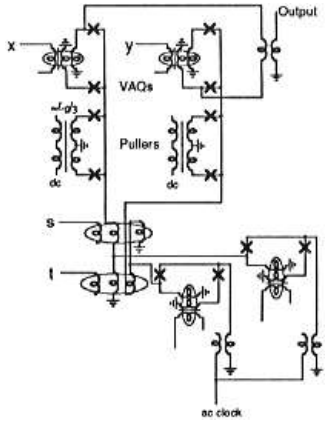


図 1　D-gate の回路図

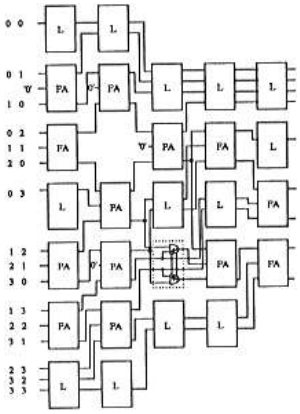


図 2　D-gate による 4×4 乗算器

成果展開可能なシーズ、用途等

1) 超高速計算機に代表される超高速論理回路。

2) とくに、10GHz 以上のクロックで駆動されるパイプライン演算処理装置

特許出願

1) D-gate

特　　願：平 2-61880(平 2.3.13)特開平 3-167919

出　願　人：新技術事業団、日立製作所

請求の概要：QFP の出力により駆動される QFP、及びそれを用いた論理回路。

《外国出願》

1) Superconducting Logic Circuit
米国出願：US665085
請求の概要：特願平 2-61880 と同じ

報告書他

1) W.Hioe,M.Hosoya,E.Goto:IEEE Trans.Magn.,MAG-27,2,(19991)
"A new Quantum Flux Parametron gate with large input margin"
2) M.Hosoya W.Hioe,R.Kamikawai,Y.Harada,E.Goto:IEEE Trans.Magn.,MAG-27,(1991)
"Experimental study of a Dual-input multiplexor gate"
3) W.Hioe,M.Hosoya,E.Goto:IEEE Trans.Electron Device,(1992)
"A study on circuits to improve the margin of the Quantum Flux Parametron"
4) W.Hioe,M.Hosoya,E.Goto,R.Suda,N.Miyamoto:J.Appl.Phys.,(1992)
"An auxiliary circuit to improve gain of QFP devices"
5) W.Hioe,M.Hosoya,R.Suda,E.Goto:Superconducting Science and Technology
"A Single Flux Quantum Logic Gate with High Functionality"

〔研究者名〕ヒュー　ウィリー、細谷睦

5. QFP アナログ－デジタル変換器

QFP を基本デバイスとする高速アナログ－デジタル変換器

研究成果の概要

1）研究の背景

アナログ－デジタル変換器はスイッチング素子の大きな応用分野である。磁束量子パラメトロンは物理基本量である磁束量子を単位とし、アロナグ－デジタル変換機能を本来備えている。従って、スイッチング素子としての高速性能を合わせれば、従来の性能を超える性能を実現できると期待される。

2）研究の内容

1. 4 ビット変換器の基本動作

rf-SQUID と QFP を組み合わせた磁束比較回路を新しく考案した。さらに、梯子型抵抗回路網と磁束比較回路を組み合わせた 4 ビットのアナログ－デジタル変換集積回路を作製し、変換動作を低速度で実証した。

2. 高速動作実験

磁束比較回路の高速動作実験を行い、サンプリング周波数 18.2GHz、入力周波数 5.4GHz を実現した。この性能は表にある様に、世界最高速度である。

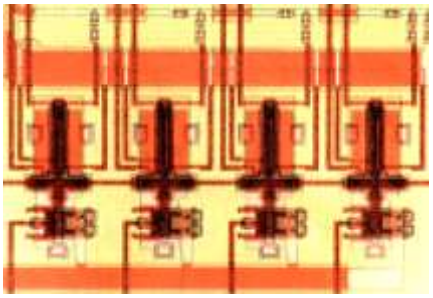


図　4 ビットアロナグ－デジタル変換器

	シリコンバイポーラ素子	ガリウム・ヒ素素子	ジョセフソン素子	QFP 素子（本報告）
サンプリング周波数	2GHz	3GHz	5GHz	18.2GHz
入力周波数帯域	1.7GHz	～2GHz	N.S.	5.4GHz
分解能（高速動作）	6bit（6bit）	4bit（4bit）	4bit（2bit）	4bit（1bit）
作製技術 最小寸法 電流密度	1myu m～ 100000A/cm^2	1myu m	3myu m 3000A/cm^2	5myu m 100A/cm^2
発表年次	1988	1986	1987	1991

表　高速アナログ・デジタル変換器の比較

成果展開可能なシーズ、用途等

超高速アナログ－デジタル変換器の可能性を示した。本研究成果は情報処理分野、通信分野等、広い分野の高速信号処理に展開可能である。

特許出願

1）超電導アナログデジタル変換器

特　　願：昭 62-295780(昭 62.11.24)特開平 1-137727

出　願　人：新技術事業団、原田豊

請求の概要：励振電流の立ち上がりでサンプリングし、電源余裕の大きいかつ電源波形のオーバーシュートを感じないアナログデジタル変換器

2）超電導デジタルアナログ変換器

特　　願：平 2-251491(平 2.9.20)

出　願　人：新技術事業団、原田豊

請求の概要：きわめて簡単な構造での高精度超高速デジタルアナログ変換器

《外国出願》

1) Superconducting Anarog to Digital Converter

米国出願：US274493(Nov.,22,1988)

請求の概要：特願昭 62-295780 と同じ

2) Superconducting Digital to Anarog Converter

米国出願：US762341(Sept.,19,1991)

請求の概要：特願平 2-251491 と同じ

報告書他

1) N.Shimizu,Y.Harada,N.Miyamoto,and E.Goto,
"A new A/D converter with quantum flux parametron,"
IEEE Trans. Magn., vol.25, p.865, 1989

2) Y.Harada and J.Green,
"High-speed Experiments on a QFP-Based Comparator for ADC's with 18-GHz Sampling Rate and 5-GHz Input Freqeuncy," IEEE Trans.Applied Superconductivity, vol.2, p.21, 1992

〔研究者名〕原田豊、清水信宏、Janathan B.Green

6. トラップ磁束検出移動技術

超伝導体にトラップされた磁束を SQUID 磁束計で検出し、レーザ加熱によりその磁束を任意の場所に移動させる技術

研究成果の概要

超伝導体試料(ニオブ膜)表面上での SQUID 磁束計のピックアップコイル走査により、超伝導体上の磁場分布を測定しトラップされた磁束量子の位置を測定する(図 2-(1))。次に、光ファイバを使って液体ヘリウム内に導光されたアルゴン・イオン・レーザを集束性レンズによって試料表面上で集光し、ホットスポット(直径～100myu m の常伝導領域)を作り出す(位置 A)。さらにレーザ光を移動し(図 2-(2))、ホットスポットを試料表面上で任意の場所まで掃引する(位置 C)。最後に、初めと同様にピックアップコイルを走査し磁束量子の移動を確認する(図 2-(3))。図 2 では、磁束量子が初めトラップされていた位置 B からレーザの掃引を止めた位置 C に移動している。図 3 に、このときのレーザ掃引前後での磁束量子の変化量を示す。また、コイルと試料の間隔をガス流により制御する(ガス浮上ヘッド)技術の低温領域(-190DEG C 以下)での使用可能性を示した。(図 1)

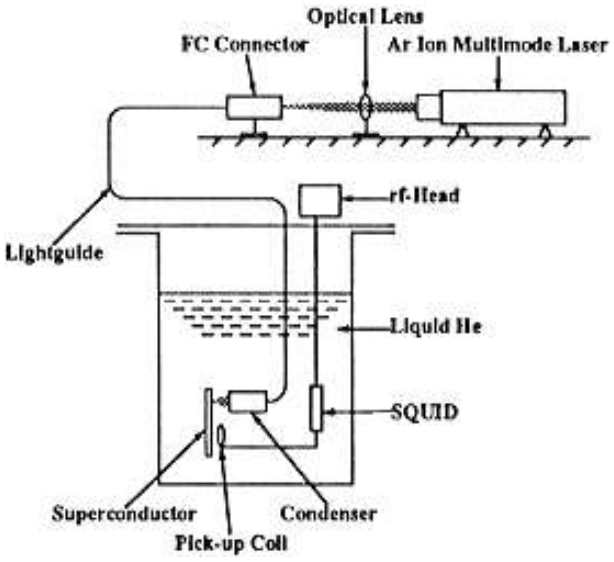


図 1 A schematic diagram of laser and pick-up coil system.

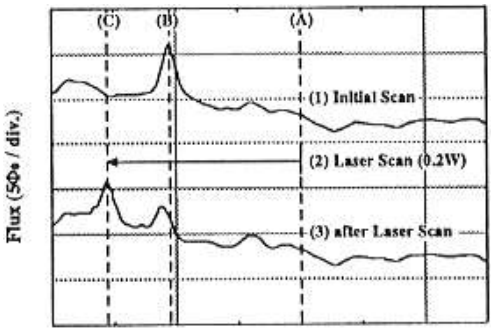


図 2 The output of SQUID magnetometer before and after laser beam scanning.

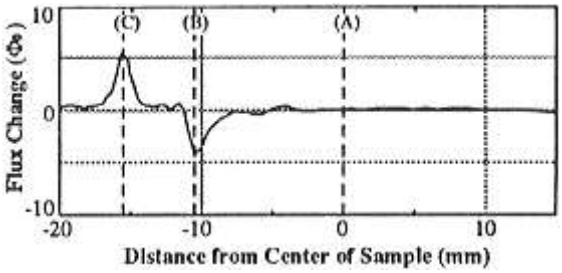


図 3 Flux change due to scanning the laser beam.

成果展開可能なシーズ、用途等

1）磁気遮蔽体の遮蔽性能向上

2）超伝導素子を用いたコンピュータへの応用

3）生体磁気測定

4）高温超伝導体への応用

特許出願

1）超伝導磁気遮蔽容器および方法

特　　願：昭 63-103449(昭 63.4.26)特開平 1-274498(平 1.11.2)

出　願　人：新技術事業団、湯山純平

請求の概要：超伝導転移温度の異なる物質を線状に並べたことを特徴とする磁気遮蔽容器と、それを用いて行なう磁気遮蔽の方法。磁束トラップの発生を防止できる。

2）磁場分布測定装置

特　　願：平 1-65182(平 1.3.17)特開平 2-243982(平 2.9.28)

出　願　人：新技術事業団、湯山純平、南展史、成瀬文雄

請求の概要：垂直方向可動に懸架したヘッドに検出コイルを取付、冷却流体を噴出させてコイルと試料の間隔を一定に保ちながら、超伝導上の磁場分布を測定する装置。

3）静磁場測定装置

特　　願：平 2-251494(平 2.9.20)特開平 4-130283(平 4.5.1)

出　願　人：新技術事業団、湯山純平、耿＝（こん）全、千原一徳

請求の概要：検出コイル面のごく近くを平行に、平面内で狭いスリットを隔てて並んだ超伝導体のストリップ列を通過させ、静磁場の測定をおこなう装置。

《外国出願》

1) Apparatus for Positioning a Pick-up Coil for Detecting Magnetic Flux Quantum Trapped in a Superconductor

米国特許：5053707(Oct.1.1991)

請求の概要：平 1-65182 に同じ

2) Apparatus for Measuring Static Weak Magnetic Field

米国特許：07/762,381(Sep.1991)

請求の概要：平 2-251494 に同じ

報告書他

〔論文投稿〕

1) Q.Geng et al:Physica B,165&166,p.87,1990

2) H.Minami et al:IEEE Transactions on Magnetics,Vol.27,No.2,p.3009,1991

3) Q.Geng et al:Japanese Journal of Applied Physics,Vol.30,No.5A,p.838,1991
4) 耿＝全他:低温工学、Vol.27,No.2,p142,1992
5) H.Minami et al:Cryogenics,Vol.32,No.7,p648,1992
6) Q.Geng et al:The Review Scientific Instruments,(Submitted)
7) Q.Geng et al:Journal of Applied Physics,(submitted)

〔国内学会〕
1) 南展史他:第 51 回応用物理学会学術講演会講演予稿集、p.160,1990
2) 南展史他:1991 年度春季低温工学・超電導学会予稿集、p.113,1991
3) Q.Geng 他:1991 年度春季低温工学・超電導学会予稿集、p.114,1991 ほか

〔国際学会〕
1) Q.Geng et al:Proceeding of 19th Internationl Conference on Low Temperature Physics,p.87,1990
2) H.Minami et al:1990 Applied Superconductivity Conference Program and Abstract,p.79,1990
3) Q.Geng et al:Third International Superconductive Electronics Conference Extended Abstracts,p.576,1991
ほか

〔書籍〕
1) J.Yuyama et al:Fluxoid Josephson Computer Technology,
E.Goto,T.Soma and K.F.Loe,Eds.,World Scientific,Singapore,p.24,p.76,1988
2) H.Minami,Q.Geng et al:Issues in Josephson Supercomputer Design,
E.Goto and K.F.Loe,Eds.,World Scientific,Singapore,p.15,p.29,1991
3) H.Minami,Geng et al:Advances in Quantum Flux Parametron Computer Design
E.Goto,Y.Wada and K.F.Loe,Eds.,World Scientific,Singapore,p.326,p.327,p.328,1992

〔研究者名〕南展史、チーチャン　ゲン、千原一徳

7. 新冷凍機方式

パルス管の室温端にピストンを設けて冷凍機内の気体の動きを制御し、最適な気体の運動を得る方式。

研究成果の概要

1）構造

パルス管の室温端にピストンを設け、バルブの開閉とピストンの運動とを任意の位相差で同期させた(図 1)。こうして、冷凍機内の気体の変位の位相を変化させ、到達温度への影響を調べた。

2）気体変位の最適位相

室温端の気体変位の最適な位相は、ピストンが受け取る仕事が最大となる 90° 付近ではなく、より大きな位相角(今回の実験では 140° 付近)であることを、はじめて明らかにした(図 2)。

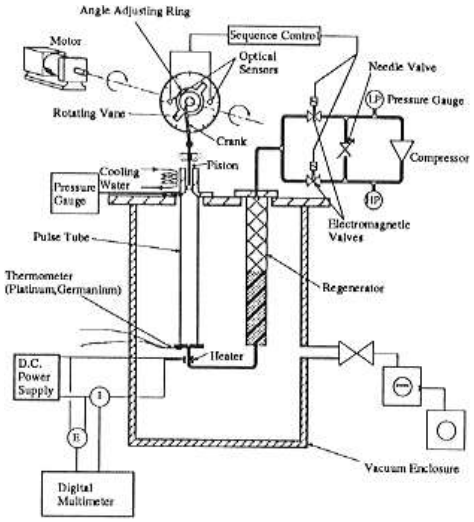


図 1　装置の概要

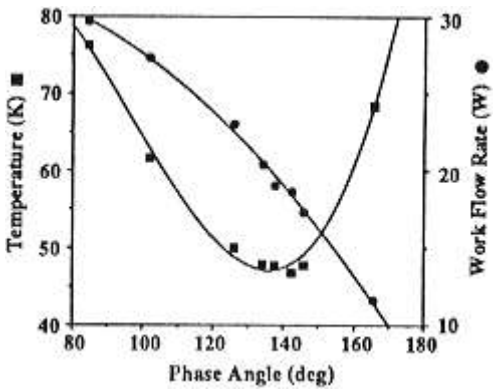


図 2　気体変位の位相と到達温度

成果展開可能なシーズ、用途等

1）気体の運動の位相を最適化した高性能パルス管冷凍機。

2）用途

・超伝導エレクトロニクス素子の冷却。

・赤外線素子の冷却

特許出願

1）冷凍機

特　　願：平 2-170787(平 2.6.28)

出　願　人：新技術事業団、耿＝全、湯山純平

請求の概要：膨張器のピストンを室温部に設け、低温部までの圧力振動の伝達を、室温部と低温部を連結する管路中の気柱が担う冷凍機。

2）パルス管冷凍機

特　　願：平 3-110292(平 3.5.15)

出　願　人：新技術事業団、湯山純平、粕谷雅彦、耿＝全

請求の概要：室温部の直径が低温部の直径より小さいパルス管冷凍機。

《外国出願》

1) Refrigerator

米国特許：07/723,384(Jun.28.1991)

請求の概要：平 2-170787 に同じ

報告書他

1）粕谷雅彦他:理研シンポジウム第 8 回ジョセフソン・エレクトロニクス予稿集、p.41,1991

2）粕谷雅彦他:1991 年度春季低温工学・超電導学会講演概要集、p.43(1991)

3) M.Kasuya et al:Cryogenics,Vol.31,No.9,p.786(1991)

4）粕谷雅彦他:1991 年度秋季低温工学・超電導学会講演概要集、p.130(1991)

5) M.Kasuya et al:Cryogenics,Vol.32,No.3,p.303(1992)

6）J.Yuyama et al:Advances in Quantum Flux Parametron Computer Design edited by E.Goto,Y.Wada,and K.F.Loe(World Scientific,Singapore)p.278(1992)

7）Q.Geng et al:Advances in Quantum Flux Parametron Computer Design edited by E.Goto,Y.Wada and K.F.Loe(World Scientific,Singapore)p.292(1992)

〔研究者名〕湯山純平、チーチャン　ゲン、粕谷雅彦

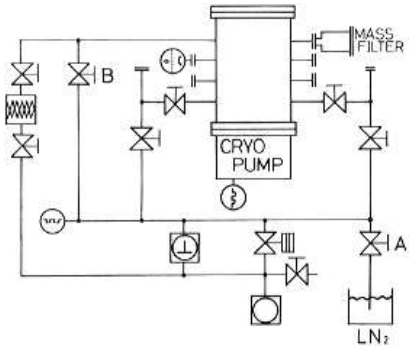
8. 超高真空装置

容易に超高真空を得ることのできる、機械式クライオポンプを用いたアルミニウム合金製超高真空装置。

研究成果の概要

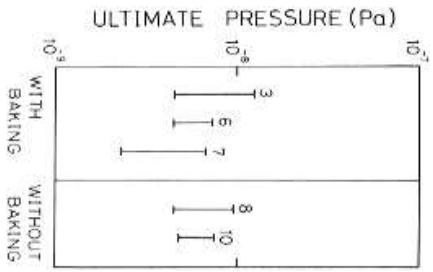
1）装置の構成

口径 12 インチのクライオポンプをベースに、ポンプケースをアルミニウム合金(A6063,A5052)で製作した(図 1)。アルミニウム合金の表面処理は、化学研磨を行った。



2）本装置の特徴

アルミニウム合金にすることで、ベークアウト温度を 120DEG C という低い温度にすることができ、クライオポンプの冷凍機に対し特別な過熱防止処置をしなくても、4～5×10^{-9}Pa の到達圧力が得られた。液体窒素から直接乾燥窒素を供給して真空槽内を大気圧に戻すことにより、槽壁への水分吸着が妨げられ、ベークアウトなしでも、4～5×10^{-9}Pa の到達圧力が得られた(図 2)。



成果展開可能なシーズ、用途等

極高真空装置への機械式クライオポンプの応用

特許出願

1）超高真空装置

特　　願：平 1-253091(平 1.9.28)特開平 3-115784(平 3.5.16)

出　願　人：新技術事業団、湯山純平、粕谷雅彦

請求の概要：真空槽を大気圧にもどすとき、液体窒素中から液体を取入れ、蒸発して気体となりつつ真空槽へ導入されるようにした超高真空装置。

報告書他

1）粕谷雅彦、湯山純平:真空,Vol.32,No.3,p.419(1989)

2）粕谷雅彦、湯山純平:真空,Vol.33,No.3,p.238(1990)

3) M.Kasuya and J.Yuyama:J.Vac.Sci.Technol.,Vol A8,No.4,P.3333(1990)

〔研究者名〕粕谷雅彦

9.　三次元インダクタンス計算方式

任意形状超伝導体の 3 次元インダクタンス計算法及び計算システム

研究成果の概要

1）アルゴリズム

1. 電流が導体表面のみを流れるとみなせる場合は、表面を流れる電流の作る磁場が導体表面の法線方向成分を持たないことを利用して電流分布を求める。
2. 電流の導体内部への侵入が無視できない場合は、電流の作る磁場がロンドンの方程式を満たすように電流分布を決める。
3. 1.、2.いずれの場合も、分割数による外挿を行うことにより解の収束を加速する。

2）計算システム

1. 任意形状の導体系を直方体の組合せにより近似する。この直方体をもとに、導体系の電流分布を表現するのに必要な電流網を構成する。
2. 電流網の電流分布を上述のアルゴリズムによって定める。
3. 定まった電流分布より、磁場／インダクタンスを計算する。

(図 1、図 2)

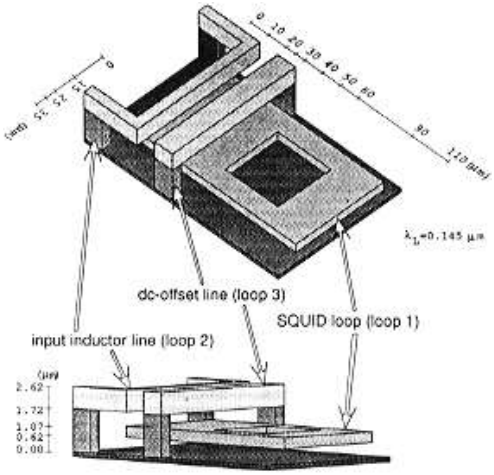


図 1

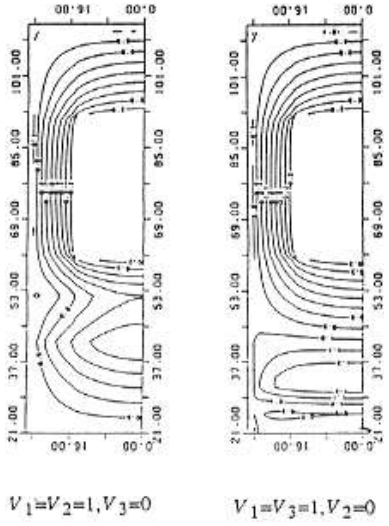


図 2

成果展開可能なシーズ、用途等

1）超伝導回路のインダクタンスの設計、磁場／電流密度分布の解析。

2）電流の導体への侵入が無視できるような高周波回路の設計／解析にも適用可能。

特許出願

なし

報告書他

1）細谷睦他:電子情報通信学会全国大会論文集、3(1987)、
「外挿を利用した境界要素法による 3 次元インダクタンス計算」
2）細谷睦他:電子情報通信学会全国大会論文集、C2(1988)、
「超伝導回路の 3 次元インダクタンス計算システム 1
3) M.Hosoya:IEEE Trans.Magn.,MAG-25,2(1989)
"Inductance Calculation System for Superconducting Circuits"

〔研究者名〕細谷睦

10. 高感度磁束計

Double dc SQUID により磁気雑音を低減して感度を向上した。

研究成果の概要

従来の dc SQUID における磁気雑音発生の原因を検討したところ、第 1 図に示す回路で 2 つの dc SQUID に均等に加わる磁気雑音は各々の入力コイルを直列接続して 1 つのループにすることで打ち消して除去し、さらに 2 つの dc SQUID の出力信号の和信号を用いることで高い信号雑音比(S/N 比)を得られることが分かった。

第 2 図に本磁束計の磁側－検出電圧特性を示す。第 1 図の端子 7、7´における SQUID1 と SQUID2 の出力電圧は曲線 A 及び B で与えられる。入力磁束 Phi in に対する出力電圧は a、b で与えられ、従って、端子 7、7´間の電圧は a、b 間の値で与えられ、単一の SQUID の 2 倍の出力が得られる。信号磁束は各 SQUID に反対方向に加わるのに対して、磁気雑音は同じ方向に存在するので雑音電圧 a´、b´が打ち消し合うことになる。上記の打ち消し効果は各々の dc SQUID と入力コイルの磁気的結合度が密結合となる方が高くなる。

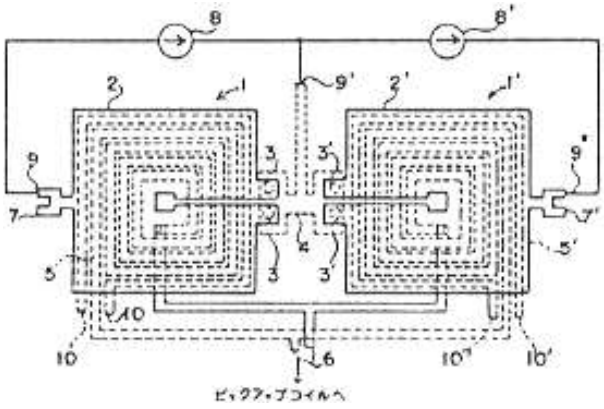


図 1

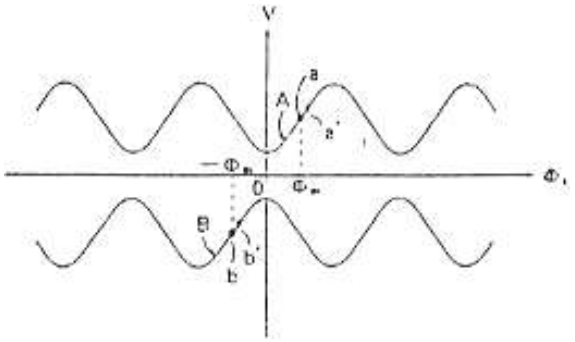


図 2

成果展開可能なシーズ、用途等

本磁束計は生体磁気計測の分野ばかりでなく、非破壊検査や資源探査などの分野においても顕著な効果が期待される。

特許出願

1）高感度磁束計

特　　願：平 2-65060(平 2.3.15)

出　願　人：新技術事業団、中根英章、ホアン カサス、後藤英一

請求の概要：2 つの超伝導量子干渉素子を直列接続して、雑音磁束による発生電圧を打ち消し、雑音の低減化を図った高感度磁束計

報告書他

1）J.Casas,N.Miyamoto,H.Nakane,E.Goto,(1991) Performance of a Double dc SQUID Magnetometer. IEEE Trans.on Magne.27,2975-2978.

〔研究者名〕中根英章、ホアン カサス、原田豊、宮本信雄

11. 倍周波型磁束計

ジョセフソン接合を倍周波型変調器とする高感度で直流オフセットのない磁束計。

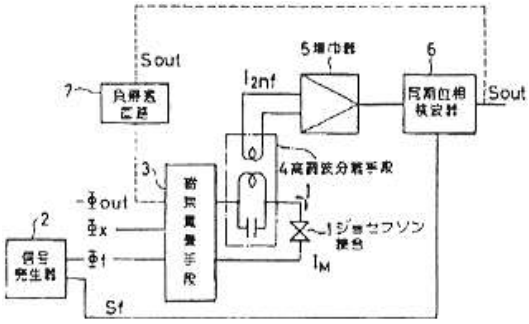
研究成果の概要

1）研究の背景

従来より、生体磁気計測の分野において高感度の磁束計が望まれていた。従来の SQUID 磁束計では直流磁束のオフセットが分からず、磁束の絶対値が測定出来なかった。

2）研究の内容

超伝導素子による磁束計測手段を検討したところ、単一のジョセフソン素子に入力磁束と任意周波数の変調磁束を重畳して加えたとき、ジョセフソン素子に流れる電流の特定偶数高調波成分が入力磁束に比例することを見いだした。第 1 図においてジョセフソン素子には信号発生器からの変調磁束と入力磁束が重畳して加えられ、そのとき素子を流れる電流から特定高調波を分離し、同期位相検波器により検出する。



成果展開可能なシーズ、用途等

本磁束計は生体磁気計測、非破壊検査や資源探査などの分野の他、磁束の絶対値の計測を必要とする分野に顕著な効果が期待される。

特許出願

1）磁束計測方式

特　　願：昭 63-301944(昭 6.11.19)

出　願　人：新技術事業団、原田豊

請求の概要：QFP による磁束計測において、入力磁束を変調した後、位相検波することにより、信号対雑音比を高め、かつゼロ点較正を不要にする。

報告書他

なし

〔研究者名〕中根英章、ホアン カサス、原田豊、宮本信雄

12. 三次元実装技術

磁束結合によるモジュール間非接触信号伝達

研究成果の概要

1）原理

QFP は磁束を使って信号を伝達するので図 1.に示すように回路基板を積み重ね、コネクタを使わずに磁気結合により信号の授受を行なうことが可能である。

2）成果

配線基板に回路チップを取り付けた形の最も単純なモデルで基本原理を確認した(写真 1、ただしパッケージ内に実装してある)。このモデルは図 2.に示すように QFP はチップ上に設け、配線基板上には QFP を励振するための励振線、および信号線を設けてあり、配線基盤と回路チップは接着剤で固定してあるのみである。これにより配線基板からの入力信号でチップ上の QFP 素子を動作させる基礎実験に成功した。

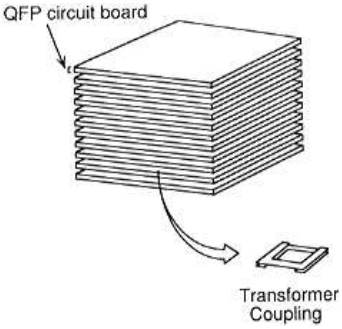


図 1　三次元実装概念図

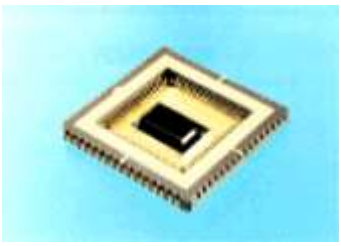


写真 1　基本原理確認用回路モデル

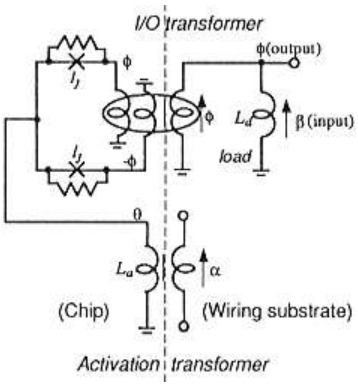


図 2　基本原理を確認した QFP 回路

成果展開可能なシーズ、用途等

多数の回路をコンパクトに実装する必要のある、スーパーコンピュータへの応用が期待される。

特許出願

なし

報告書他

1) M.Hosoay,W.Hioe,J.Casas,R.Kamikawai,Y.Harada,Y.Wada,H.Nakane,R.Suda,E.Goto, “Quantum Flux Parametron:A Single Quantum Flux Device for Josephson Supercomputer”,IEEE Transactions on Applied Superconductivity Vol.1,No.2 pp77-89(1991).

2）M.Hosoya,W.Hioe,E.Goto,Y.Wada,R.suda,R.Kamikawai,N.Miyamoto,“Proto-type Model of Threee-dimen- sional QFP Circuits”,Internationsl Superconductivity Electronics Conrerence Abstracts,(1991).
3）上川井良太郎、原田豊、細谷睦、ウィリー・ヒュー、和田恭雄、中根英章、後藤英一：3次元実装基本技術:理研シンポジウム、第7回ジョセフソンエレクトロニクス p54(1990)
4）細谷睦、ウィリー・ヒュー、後藤英一、和田恭雄、須田礼仁、上川井良太郎、宮本信雄：Proto-type Model of Three-dimensional QFP Circuits：理研シンポジウム、第8回ジョセフソンエレクトロニクス p96(1991)

〔研究者名〕上川井良太郎、細谷睦、和田恭雄

13. 循環パイプライン方式

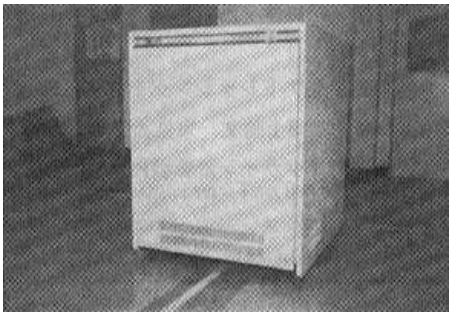
深いパイプライン構成で高効率計算を実現する超高速デバイスに適した計算機方式

研究成果の概要

1）磁束量子パラメトロンをはじめとして、ラッチ機能を持つデバイスを用いる計算機では、自然に段数の多いパイプラインが形成される。

2）このような多段のパイプラインを有効に利用するため、単一のハードウェア・パイプラインを複数の命令流で共有する「循環パイプライン方式」の計算機“FLATS2”を設計、製作し、評価を行った。

3）循環パイプライン計算機の設計は原則的に可能であり、試作機 FLATS2 は所期の性能を発揮することが確認された。



FLATS2 の外観

成果展開可能なシーズ、用途等

1）循環パイプラインは本質的に並列計算機であるので、並列性を持つ応用分野を指向した専用計算機。

2）循環パイプラインはパイプラインを停止(ストール)させないため、常にクロックを与え続けるダイナミック型論理素子を用いた集積回路(CPU チップ等)。

特許出願

なし

報告書他

1）市川周一、加藤紀行、後藤英一:情報処理学会研究報告、88-ARC-72-1.
「循環パイプライン計算機 FLATS2」

2）市川周一、佐藤三久、後藤英一:電気情報通信学会論文誌、vol.J74-D-1、no.5、pp.329-338. (1991)
「範囲検査アドレッシングを有する FLATS2 アーキテクチャと性能評価」

3）市川周一:博士論文、東京大学理学部情報科学科(1991)
「循環パイプライン計算機 FLATS2 の研究」

〔研究者名〕市川周一、深沢紀博

14. 循環パイプライン計算機のソフトウエア

循環パイプライン方式によるマルチプロセッサのためのプログラミング言語コンパイラ、オペレーテングシステム等のソフトウエアを試作、検討した。

研究成果の概要

1) 循環パイプライン方式の試作機 FLATS2 は、循環パイプライン方式により 1 つの計算機を 2 つの共有メモリのマルチプロセッサとして利用できる。

2) 並列プログラミングのために FORTRAN 言語を拡張し、そのコンパイラを試作し、科学技術計算において効果があることを確認した。

3) 循環パイプライン方式では命令の分岐の損失を低減できるため、FLATS2 はメモリアクセスと範囲検査を統合した BL アドレッシング機構を実現した。科学技術計算で重要なループの最適化や Lips 言語などの実行時型検査に有効であり、コンパイラによる最適化技法を考案し、実証した。

4) オブジェクト指向に基づくマルチプロセッサのためのオペレーテングシステムの核を設計・試作した。

Compile Option	One instruction stream (MFLOPS)	Two instruction streams (MFLOPS)	Speedup
-O	1.96	3.70	1.89
-OB	2.66	5.00	1.87

key: -O －optimized without BL addressing.
-OB －optimized with BL addressing.

表 1　循環パイプライン試作機 FLATS2 の LINPACK ベンチマークでの効果

成果展開可能なシーズ、用途等

1) さらに、実用的な循環パイプライン方式計算機への展開。

2) 既存の計算機への BL アドレッシングの適用による高速化。

3) 汎用の共有メモリマルチプロセッサへの試作したソフトウエアの適用。

特許出願

なし

報告書他

1) Mitsuhisa Sato and Shuichi lchikawa and Eiichi Goto,「Multiple Instruction Stream in a Highly Pipelined Processor」,Proceedings of 2nd IEEE Symposium on Parallel and Distributed Processing,pp 182-189, Dec., 1990.

2）佐藤、市川、後藤「BL アドレッシングによるループ最適化」ほか、後藤磁束量子情報プロジェクト 最終報告書、新技術事業団、1991 年 3 月。
3）スペー、佐藤、深沢、後藤、「The Design and Implementation of the CPX kernel」、後藤磁束量子情 報プロジェクト最終報告書、新技術事業団、1991 年 3 月。
他

〔研究者名〕佐藤三久、ポール・スペー、川上周

15. 超高速計算機方式

1TFLOPS スーパーコンピューター方式と、評価法(ベンチマーク)の検討

研究成果の概要

スーパーコンピューターの性能比較は、通常、「ベンチマーク」と呼ばれる一連のプログラムを実行する速さを較べることによって行なわれる。ベンチマークは従来から世界各地の研究機関に於いて提案されてきた。しかしそのほとんどでは、プログラムがはっきりと指定されていて、そのため却って各計算機のハードウェアの特長が十分に反映されないという問題があった。そこで我々は、従来と異なった方式のベンチマークを提案した。すなわち、プログラムをはっきりと指定せずに、プログラマーに、各ハードウェアに即した最適化の自由を与えることにした。検査の項目として、科学計算に於いて重要な、1.乱数生成、2.初等関数計算、3.高速フーリエ変換、4.密行列計算、5.疎行列計算、6.リストベクトルで規定される行列計算、の 6 項目を提案した。

成果展開可能なシーズ、用途等

1) スーパーコンピューターの性能比較
2) スーパーコンピューター設計の際の指針

特許出願

なし

報告書他

W.F.Wong et al.:Proc.of the Int.Symp.on Supercomputing,p.120,Fukuoka(1991).
W.F.Wong et al.:Supercomputer,vol.8,no.6,p.39(1991).

〔研究者名〕ウェン ファイ ウォン

16. 多層膜応力解析技術

ヤング率の異なる物質を重ねた多層膜による小型ベローズの膜中の応力を解析し、高信頼性を得るための最適化をはかる技術。

研究成果の概要

1）解析モデル

図 1 の様なヤング率の異なる物質を電着法で多層化したベローズを解析モデルとする。

2）結果

回転対称軸方向に変形を加え、内圧が加わった場合の最大応力値は、物質のヤング率比、多層膜の膜厚を最適化することにより、単層ベローズの場合より小さくできる。(図 2)

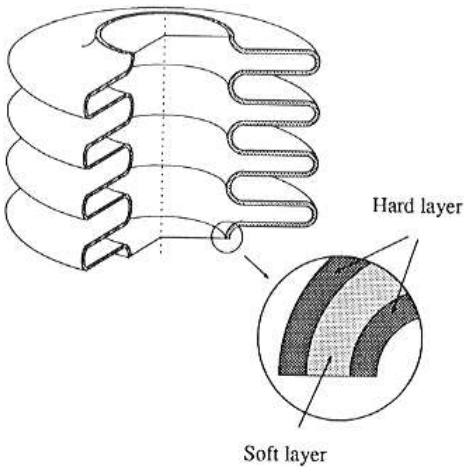


図 1　多層ベローズ(断面図)

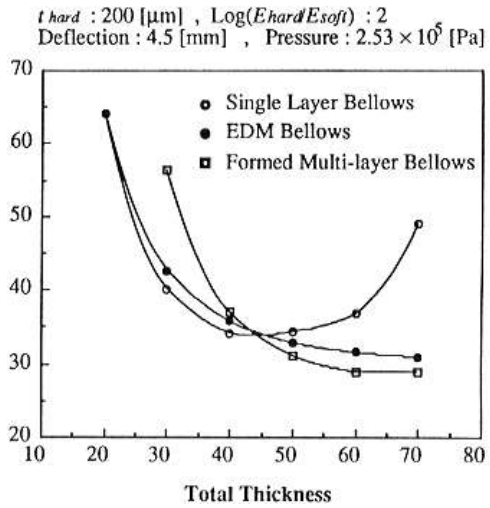


図 2　膜厚 vs.最大主応力
(EDM:電着多層)

成果展開可能なシーズ、用途等

長寿命小型ベローズ式冷凍機。

特許出願

1）流体与減圧装置

特　　願：昭 62-5486(昭 62.1.13)特開昭 63-173865

出　願　人：新技術事業団、後藤英一

請求の概要：硬弾性物質と軟弾性物質を交互に多層積層膜として構成したダイアフラムまたはベローズを用いたポンプ。

2）流体圧縮装置

特　　願：昭 62-204781(昭 62.8.18)

出　願　人：新技術事業団、湯山純平

請求の概要：ピストンが往復するシリンダー内をベローズまたはダイアフラム内の被圧縮流体と同一の流体で満たし、かつ、圧縮機構を複数設けて多段とした流体圧縮装置。

報告書他

1）千原一徳他：1989 年度秋季低温工学会講演概要集,p.236(1989)「小型冷凍機用ベローズの応力解析」

2）千原一徳他：理研シンポジウム第 6 回ジョセフソン・エレクトロニクス予稿集、p.81(1989)「冷凍機用ベローズの応力解析」

3）粕谷雅彦他：理研シンポジウム第 7 回ジョセフソン・エレクトロニクス予稿集、p.63(1990)「冷凍機用積層ベローズ」

4）千原一徳他：日本機械学会誌、Vol.57、No.537、p.1191(1991)「積層化による電着ベローズの応力の減少」

〔研究者名〕千原一徳

17. 金属疲労評価技術

薄膜状の金属試験片の疲労強度を評価する技術

研究成果の概要

1）本技術の特徴

薄膜試験片の端部の影響を避けるため、薄肉円筒状の試験片を用意する。試験機と試験片の軸合わせのため、試験片は図－1 のように接着剤で活具に固定する。

2）研究例

1. 電着ニッケル薄膜の製作

   試験片は、スルファミン酸ニッケルめっき液を使用して、アルミニウムの母材の上に電着で製作し、その後、母材を水酸化ナトリウム水溶液で溶解。寸法は内径 8.8 ㎜、長さ 50mm、肉厚 30mm である(図－1)。

2. 図－2 はステアケース法の結果、図－3 は S - N 線図である。この結果から、疲労限界応力(10⁷ 回の時間強度を用いる)は、150.5±22.3MPa と推定された。

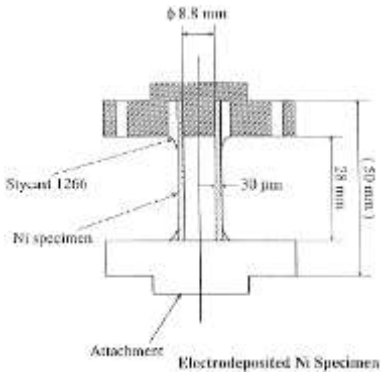


図 1

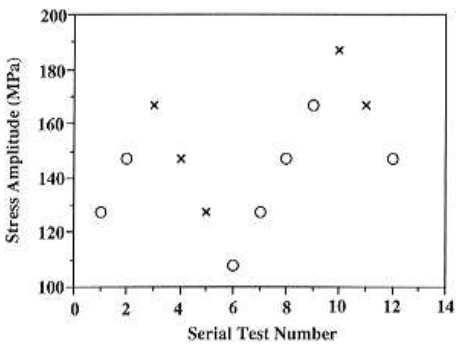


図 2

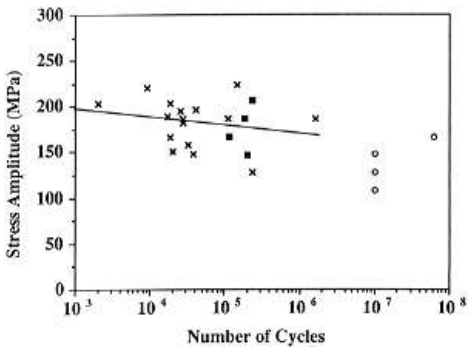


図 3

成果展開可能なシーズ、用途等

各種薄膜の疲労強度試験

特許出願

なし

報告書他

1）千原一徳、粕谷雅彦、湯山純平、後藤英一：日本機械学会誌、Vol.57、No.537,p.1191(1991)

2）千原一徳、粕谷雅彦、湯山純平、後藤英一：1989 年度秋季低温工学超電導学会予稿集、p.236(1989)

3）粕谷雅彦、千原一徳、湯山純平、後藤英一：理研シンポジウム第 7 回ジョセフソン・エレクトロニクス予稿集、p.63(1990)
4）M.Kasuya,K.Chihara,J.Yuyama,E.Goto：Advances in Quantum Flux Parametron Computer Design,edited by E.Goto,（World Scientific,Singapore）p.317(1992)

〔研究者名〕粕谷雅彦