



RIKEN ニュース

理化学研究所

酸化物高温超電導体の 生体磁気計測用磁気シールド

酸化物超電導体による磁気シールド容器を開発し、その磁気シールド効果は世界最高であることを明らかにした。

1. はじめに

酸化物高温超電導体は、世界を大きく変えてしまう潜在力を持つ物質であると言われています。多くの研究者が、この物質の実用化を目指して研究を進めていますが、その内容は非常に多岐に渡っています。例えば、酸化物高温超電導体を線材化して、大電力無損失送電を実現しようとか、超電導マグネットを作ろうという、スケールの大きな研究があります。一方、薄膜化によって、ジョセフソン接合素子や様々なエレクトロニクス素子を実現しようとするマイクロの世界での研究も活発に行われています。しかし、残念ながらこれらの研究は現段階では線材化、薄膜化の研究という基礎的なレベルにあり、実用化はもう少し待たなければなりません。我々は、線材化、薄膜化とは異なる観点から酸化物超電導体応用に取り組み、今回、酸化物超電導体による生体磁気計測用磁気シ

ールド容器を作製し、その磁気シールド効果を評価しました（三井金属鉱業との共同研究）。

生体磁場、特に脳磁場は脳の活動メカニズムを解明するための重要な手掛かりを与えるものとして注目を進めています。その強さ（磁束密度）は $10^{-11} \sim 10^{-13} \text{T}$ （テスラ）で、地磁気（ $3 \times 10^{-5} \text{T}$ ）に対して、およそ100万分の1から1億分の1程度という極微弱なものです。これ程弱い磁束を検出できるものとして、液体ヘリウム温度で動作するSQUID（磁束量子干渉計）が既に実用化されていますが、その性能を生かすためにはバックグラウンドの磁気ノイズ（地磁気、計測器、街の活動に伴う磁気雑音など）を十分に下げる必要があります。従来、このような目的には高透磁率のパーマロイという合金が使われていましたが、この性能は磁気シールド効果として $10^{-3} \sim 10^{-4}$ （外部磁場を1000～10000分の1まで弱める）程度で、生体磁気計測の際に必

要とされる、極微弱な磁気ノイズのシールドについてはさらに性能が落ちるという材料でした。

超電導の持つ完全導電性と完全反磁性という2つの性質は、磁場のシールドを考えるとときにはまさに理想的な性質です。今回、我々の作製した酸化物高温超電導磁気シールド容器は地磁気程度の弱磁場に対して 2×10^{-6} (50万分の1)もの磁気シールド効果を示し、酸化物超電導体が従来の磁気シールド材料より1000倍も優れていることが分かりました[1]。これによって、脳磁場などの生体磁気計測に明るい展望が拓けました。

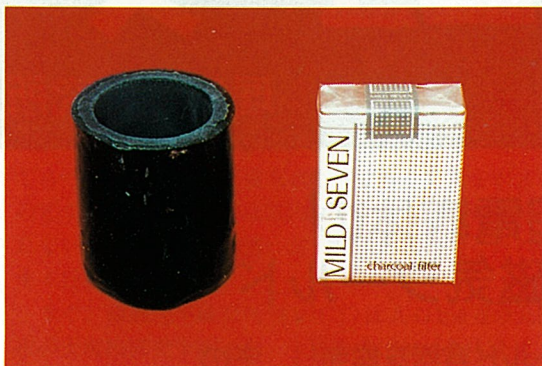


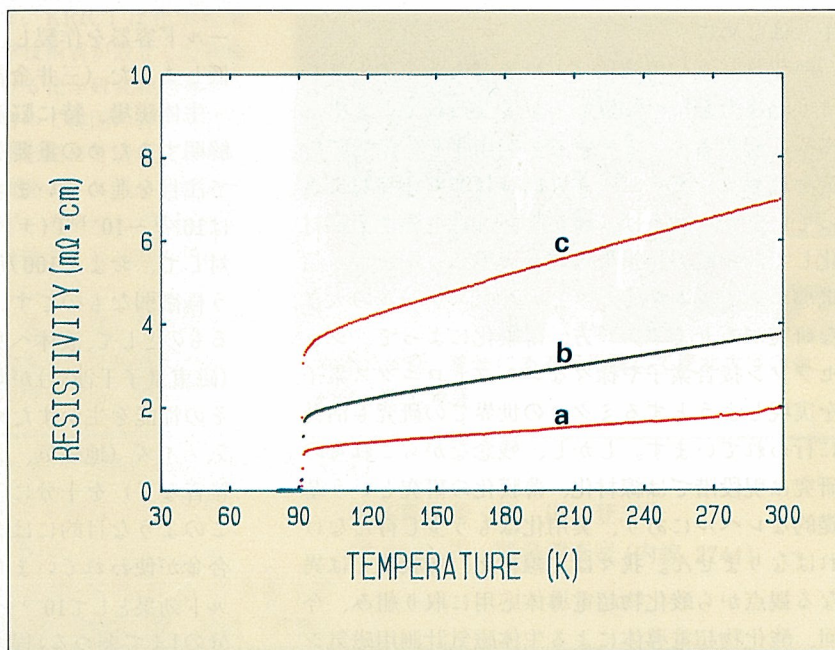
図1 YBCO酸化物高温超電導体による磁気シールド容器

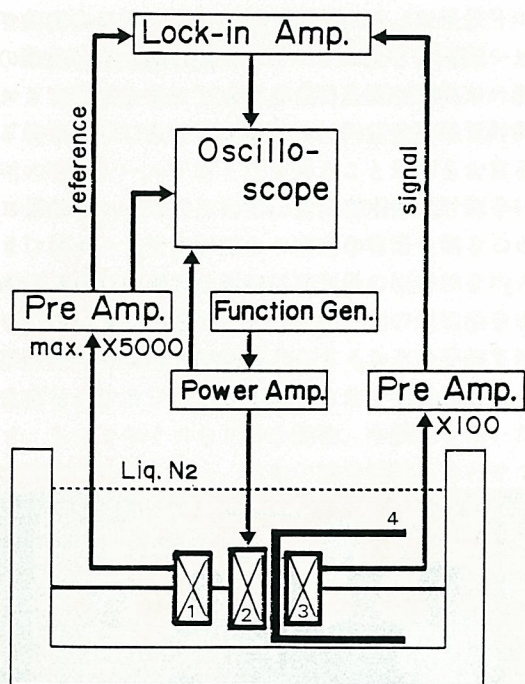
2. 実験

今回作製したY-Ba-Cu-O系酸化物高温超電導体磁気シールド容器の写真を図1に示します。この容器は一端が開口の円筒形で、内径46mm、深さ67mm、厚さ10mmの大きさです。作製には、Y、Ba、Cuをシュウ酸塩としてエタノール中で沈澱させて得たシュウ酸エタノール共沈粉(湿式粉)を用い、これを920°Cで10時間仮焼した後、粉碎・整粒して、CIP成型(静水圧下でのプレス)を施し、その後920°Cで20時間焼成しました。共沈法は、乾式混合法に比べて組成の偏析が少なく、微粒子が得られるという特徴を持っており、容易に $YBa_2Cu_3O_x$ 超電導相を形成できます。図2は作製直後の容器から切り出したサンプルの電気抵抗率を測定したものです。図中のaは容器壁の外側、cは内側、bはそれらの中間から取ったサンプルについての結果ですが、どのサンプルも90Kで超電導状態に転移しています。電気抵抗率が容器壁の外側から内側に向かって大きくなっているのは容器内での密度分布を反映しており、これは、CIP成型そのものに起因しています。

図2 YBCO磁気シールド容器の電気抵抗率

a、b、cはそれぞれ容器壁の外側、真ん中、内側から切り出したサンプルであることを示す。





- 1 Reference coil
- 2 Exciting coil
- 3 Pick-up coil
- 4 Superconducting vessel

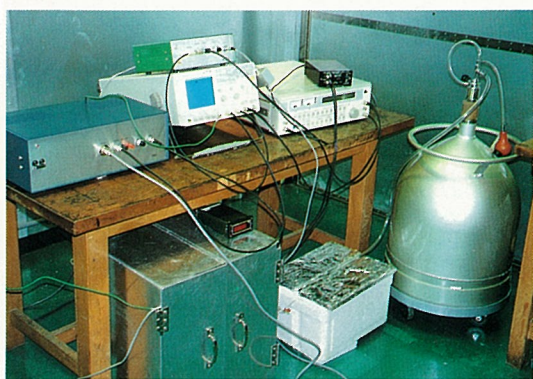


図3 磁気シールド効果測定系
全体のブロックダイアグラムと全景写真を示す。全景写真左下の金属ケースの中にファンクションジェネレータがある。また、磁気シールド容器はその隣の発泡スチロールの中にもっと設置する。

図3、図4に本実験で用いた、磁気シールド効果の測定系の写真とブロックダイアグラムを示します。ファンクションジェネレータによって励起コイルに交流電流を流し、交番磁場を発生させます。この磁場が検出コイルに誘起する誘導電圧を利得40dBのプリアンプに通した後、二位相ロックインアンプに入力して計測を行いました。また、ロックをかけるための参照信号として、励起コイルの脇に設置した参照コイルに誘導される電圧信号を増幅して用いました。磁気シールド容器は検出コイルを囲むように設置してあり、容器周辺に磁性材料はありません。また、室温における検出コイルの誘導電圧を $V_{R.T.}$ 、77Kにおける誘導電圧を V_{77K} として、 $V_{77K}/V_{R.T.}$ を磁気シールド効果と定義して容器の評価を行いました。本測定系は、非常に高感度なので、外部からのノイズにも敏感に反応してしまいます。このため、測定はすべて電磁シールドルーム内で行っています。

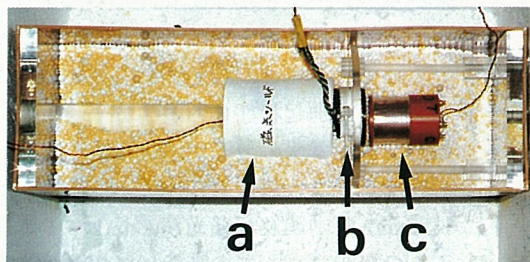


図4 磁気シールド容器をセッティングしたところ。
aは磁気シールド容器、bは励起コイル、cは参照コイルである。磁気シールド容器には水滴防止用のテフロンテープが巻いてある。

3. 実験結果と考察

図5に磁気シールド効果の測定結果を示します。周波数1000Hzで、地磁気程度(0.03mT)の入力磁場に対して 2×10^{-6} (50万分の1)の磁気シールド効果が認められました。一様な定常磁場の中に完全な超電導状態の容器を置いた場合について、開口端からの磁束の漏れを考慮すると、磁気シールド効果は理論的に、 $H(z)/H_0 = \exp(-7.6z/2R)$ と計算されています[2]。ここで、 H_0 は容器の回転対称軸方向に加える臨界磁場以下の磁場、 z は開口端からの深さ、 R は円筒半径です。今回作製した容器について上の式を適用すると、磁気シ-

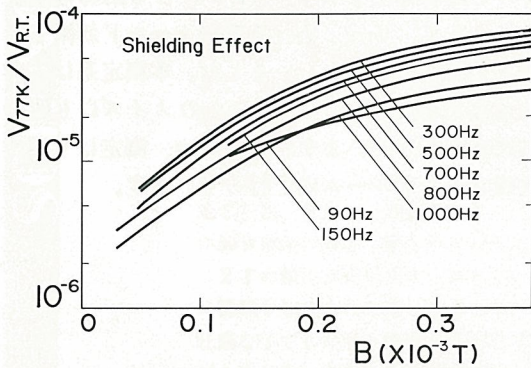


図5 磁気シールド効果
1000Hz、0.03mTの交番磁場に対して 2×10^{-6} のシールド効果が認められる。

ールド効果は 3.7×10^{-5} と求まります。我々の実験では一様磁場を用いておらず、開口端からの磁束の漏れは100分の1に押さえられていますので、 2×10^{-6} という磁気シールド効果は十分に可能であると言えます。

今まで、酸化物超電導体の磁気シールド効果については、『どのくらいの磁場までシールドできる』という、いわば臨界磁場の評価が行われてきましたが、この実験のように『どのくらいのシールド効果がある』という弱磁場でのシールド効果を正確に評価することは重要だと考えています。



研究室のメンバー

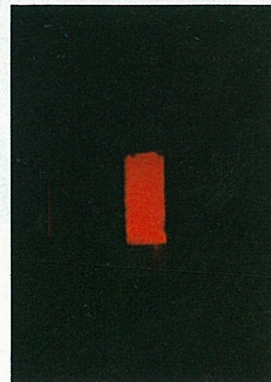
スポットニュース

酸素分析用の発光性高分子膜

反応物理化学研究室は、酸素濃度により発光量が変わる新しい発光性高分子膜を開発した。この発光プローブは、光励起状態にある高分子膜から酸素に電子移動が起ると本来の発光が消失することを利用したもので、ルテニウム錯体 $[Ru(bpy)_3^{2+}]$ の場合には可視光(452nm)で励起及び発光(603nm)する。

この発光プローブの特徴は気相、液相を問わず繰り返し用いることが出来ること、また光学ファイバー先端に被覆すると酸素分析用の微小センサーとなる。

現在、外科手術に重要である血液中の酸素濃度を監視するセンサーとして実用化をすすめている。



赤く発光している
高分子膜

4. おわりに

酸化物高温超電導体によって作製した磁気シールド容器が 2×10^{-6} という非常に良好な磁気シールド効果を示したことで、この材料が生体磁気計測用の磁気シールド材となり得ることが明らかとなりました。しかし、実際の生体を用いた計測を行うには、より大型で、より安定な容器を作ることが必要です。そのためには、大量の原料粉を均一な品質で準備することと共に、大型の焼成品をいかにクラックのないように作製するかということが重要なポイントとなります。また、第1段階として、ネズミやイヌなどの小動物、中動物を用いた実験を行う場合には、生命の維持機構も合わせて開発する必要があります。

いくつかの問題こそ残されてはいますが、本研究の成果により、磁気シールドは現在、酸化物超電導が最も早く実用化される分野の1つとして注

目されています。来るべき超電導社会の幕明けに向け、我々はこれからも研究を進めて行こうと考えております。

表面界面工学研究室 青野 正和
 (三井金属鉱業) 中山知信、重松公司
 星野和友、高原秀房
 マイクロ波物理研究室 太田 浩

参考文献

- [1] K. Shigematu, H. Ohta, K. Hoshino, H. Takayama, O. Yagishita, S. Yamazaki, H. Takahara and M. Aono: Jpn. J. Appl. Phys. 28(1989) L813
- [2] T. Ogasawara and L. Boesten: Cryog. Eng. 8(1973) 135

後藤英一主任研究員(情報科学研究室) 紫綬褒章を受賞

科学者よりも発明家を自負する後藤主任研究員が、「可変面積型電子ビーム露光システムの開発」の業績により、本年4月、紫綬褒章を受賞しました。これは超LSI回路パターン用微細加工の性能を大幅に向上させ、産業界に貢献したことが評価されたものです。

最近では量子磁束パラメトロンを発明し、21世紀の超高速コンピュータの実現に情熱をもやしています。



理研紹介映画 奨励賞に輝く

さきに設立30周年を記念して製作しました映画「創造の森－RIKEN」は、第27回日本産業映画・ビデオコンクール(日本産業映画協議会主催、文部省、通商産業省、毎日新聞社後援)に参加し、奨励賞を受賞しました。この映画は理研を「創造の森」としてとらえ、先端的な研究を分かりやすく紹介したものです。日本語版と英語版のビデオもありますので御活用下さい。

「理研の桜の下で」

Helga Brinkmann

マックスプランク天体物理学研究所Wolfgang Brinkmann博士夫人、ご主人はX線天文衛星「ぎんが」による研究のため、2月から8月まで宇宙放射線研究室に滞在。

私達一家は2月27日、牧場に牛がいるミュンヘンの郊外から、12時間の空の旅の後日本に着き、理研の宿舎に入りました。

初めの2～3週間は大変でした。時には落ち込んだことも。何もかもが違うのです。寒くて雨が多く外にも余り出られません。3人の小さな子供達を僅かの玩具と本で静かにさせておくのは至難のわざ、お互いにおっかけまわしたり喧嘩をしたり。買物は箱や包装の表に書いてある字が読めなくて、途方にくれてしまいました。子供達の好物はどれか、食事に何をつくったらいのかが分るまで、かなりの時間がかかりました。食料品の値段は途方もなく高く思われ、果物やチーズなど買う気がしません。最初のころは理研の食堂によく通いました。レストランにでも行くようで、御馳走でした。それに子供達も私も、「お父ちゃん」に30分余計に会えて嬉しかったのです。

2才の娘には苦勞させられました。外では彼女に視線をむける人を怖がりしました。極めて自立心旺盛な子でしたが、突然に日本の子供達をさえ怖がりしました。夫を除く私達全員にとって、遊んだり話し合う友達もなく、1日中家族だけにいるということは大変な生活の変化でした。子供達は父親に朝だけしか会えないと不平を言うし、私は私で夫が6時頃に戻らないと淋しい思いをしました。簡単な単語さえも読めないとすればどんな気持ちになるか、多分皆様にはなかなか想像していただけないかと思います。書類を渡されても、どこに名前を書き、どこに住所や日付を入れるのか全く解りません。

理研には国際協力課があることを知ってから、万事うまくいくようになりました。英語やドイツ語さえ話す親切な方々と会いました。話し相手があるということはとても素晴らしいことです。末娘までが、自信にみちて安心するようになりました。息子達は親切なお隣さんから自転車をいただき大喜び。理研の桜の木の下のサイクリングの練習は、私達のよい思い出になることでしょう。

週末には皆で公園に行ったり、和光市や成増駅まで行くことができるようになりました。理研構内の生活にも慣れて、理研の日本語教室にも出ることができました。構内の木や繁み、花に囲まれ、

車の往來の激しい通りから少し離れて比較的静かな道を楽しんでいます。

4月からスウエン(5才)とピプカ(2才半)が保育園に、長男のヤン(8才)が小学校に行き始めました。初めは、まるで他の惑星からでも来たかのようにヤンは見つめられ取り囲まれて困っていましたが、子供達も彼になれ、彼も皆んなや学校の生活になれました。今では放課後、ヤンの学校の友達が、ヤンやスウエンと遊ぶために我家によくやって来ますし、こちらからも出向いていきます。よいお友達ができ、私もヤンを通じて英語でお話のできる日本のお母さん達何人かに出会いました。

主人は理研での仕事を大変気に入っています。ドイツとちがって大車輪で活動しているのです。でも私達全員にとってこの長い勤務時間、従って短くなった自由時間にあわせるのは大変なことです。これはつまり、私達にとっては、東京やその周辺の観光にあてる時間が減るということになります。でも主人の出張をかねて、7月に私達は全員で旅行に行くことができました。大きなデパート、きれいな公園、数多くのお寺や神社に感激、日光には行ってよかったと思っていますし、また行きたいと考えています。6ヶ月間の日本滞在は大変貴重な経験です。ある国を知るには住んでみるのが一番、読んだり人の話を聞いたりするよりはるかによいと思います。

とはいえ……私が口にしないている思いを、5才の息子がプールからの帰途、はげしい車の往來を眺めながらこう表現してくれました。「日本には小さな村がどこかにあるの？僕の行きたいのはそんな所だよ。」でも和光市での暮らしをなつかしく思う日もそう遠くはないことでしょう。



理研シンポジウム（8、9月分）

テーマ	担当研究室	共催・協賛 (交渉中を含む)	開催 予定日
第10回「非接触計測と画像処理」	情報科学	日本ロボット学会、 計測自動制御学会 ロボット工学部会	9/21
第6回「研究を支える技術」	研究基盤技術部		9/28

理研の主な公開特許(平成元年4月～)

01-089581 レーザー光出力制御方法

レーザー科学研 田代 英夫 ほか2名

〔目的〕励起レーザー光を微弱な連続光と共にラマンセル内に注入し、このラマンセルから出力したレーザー光の強度を検出し、この検出した強度が最大となるように微弱な注入光の波長を制御することにより、ラマンレーザーの出力を最大かつ高安定に発振可能とする。

01-098277 超伝導体薄膜の形成法

触媒研 河合 真紀 ほか1名

〔目的〕予め加熱した基板の上に、形成させようとする超伝導体薄膜の原料化合物の溶液を噴霧して酸素又は酸素含有気体雰囲気中で焼成後、必要によりアニーリングすることにより、超伝導体薄膜形成の簡便化を図る。

01-095459 高精度プラズマエネルギー分布測定装置

プラズマ物理研 清水 和男 ほか2名

〔目的〕プローブ電圧を階段状に変化させ、各階段におけるプローブ電流の2次差分を求めることにより、交流信号の印加を不要とし、高精度でエネルギー分布を測定可能とする。

01-100407 半導体位置検出器における位置算法

情報科学研 出澤 正徳

〔目的〕測定区間の選択状態、すなわち出力電極の切り替え状態に応じて、出力電極からの出力電流によって得られた位置信号演算値を補正することにより、高精度で位置情報を検出する。

スポットニュース

サイクロデキストリン製造技術、
仏と契約

微生物生態学研究室の発明による好アルカリ微生物を利用したサイクロデキストリンの製造法は、高収率、安価なことから食品をはじめ医薬など幅広い利用をもたらしている。

本年5月24日には、世界的な企業であり仏最大の総合化学・製薬グループ「ロースプーラン」との間にこの製造技術に関するライセンス契約が締結され、基礎研究の成果が世界にはばたく実例として注目されている。





Daedeog Danji

成田を12時20分に離陸するKE701機は急旋回をして進路を西にとり、理研の真上を通過して韓国へ向かいます。ソウル金浦国際空港で通関を待っているときの雰囲気は人種的・時間的・気候的な同質性のために外国に来たという実感が湧きません。しかし空港を一步外へ出るとハンゲル表示のラッシュによって一瞬のうちに異国へワープした感じを受けるのは私ばかりではないと思います。オリンピックの影響もあってソウル市内にはある程度の英語表示も見られますが、我々日本人のためにはあまり役に立ちません。例えば私の目指す場所は漢字表示では大田市大徳研究団地ですが、英語の表記ではDaejeog, Daedeog Danjiとなりますのでスペリングを見ても直ちに理解できないことが多いのです。ともかく漢字は案内表示から徹底的に排除されているので、現地事情に詳しい人の助けがなければ全く行動できません。

さて、韓国化学研究所(KRICT)は人口100万の大田市の大規模研究学園地域・大徳研究団地にあります。ここには忠南大学、科学技術大学院、国立研究所群、民間研究所群などの建物が整然と並んでいます。それらのどれもが新しく出来たもので、この国の発展エネルギーの大きさを感じさせます。KRICTは化学産業基盤を確立するために韓国科学技術省が設立した特殊法人研究所であり、韓国における化学研究の指導的立場に置かれています。ここも含めて韓国の研究所は欧米に留学していた優秀な研究者を集めて活気に溢れた状況を呈しています。そこで研究のシステムも欧米型が主流になっているわけですが、そのなかで趙博士が率いる生物・有機化学チームは敢然と日本型研究システムの長所を積極的に導入しています。

研究スタイルにかかわらず、彼らと楽しむ酒席の雰囲気は日韓が全く同根文化であることを再認識させます。つまり、床に座り清酒の返杯を重ね、酒が回ると

順番に歌を披露させられます。大徳研究団地の隣接地域は有名な観光温泉街で、研究所に勤務する人たちのオアシスにもなっています。このような場が近くにあるために若い人たちの精神的ストレスは適当に発散されているようです。

繁華街で唯一私にも識別できる店は「日式」と漢字で書かれた看板の出ている食堂です。そこでは刺身ドングリ、うなぎの蒲焼、フグチリなどといったメニューが一般の人々にも親しまれており、それなりにおいしいのですが、我々の期待する味覚とは違うものになっています。韓国料理の辛さは東南アジアやインド料理の辛さに比べるとマイルドに感じますが、一般に料理のボリュームは多いので全部平らげるのは苦痛です。料金の方はやや高級な料理でも4000~6000ウォン(800~1,200円)程度ですから随分安く感じます。

韓国では私は一目で異国人だと見破られてしまいました。街中では子供や老人が文字通り眼を丸くして私を見つめます。普通の日本人が歩いている場合は余り特別視をされている様子はないので理由が私の口ヒゲとサングラスにあることはすぐに判りました。現在の韓国ではどちらも非常に稀な生活習慣なので、両方を備えている東洋人は不思議な存在と映るのでしょう。

地理的にも文化的にも共同作業をしやすい隣国について私たちはもっと知る必要があるようです。

薬剤作用研究室

副主任研究員 吉田茂男



新羅の古都・慶州にある天馬陵にて慶北大学の金教授(左)と筆者

理化学研究所ニュース No. 105, JULY 1989

発行日・平成元年7月31日

編集発行・理化学研究所

〒351-01 埼玉県和光市広沢2番1号

電話 (0484) 62-1111 (代表)

編集責任者・佐田登志夫

問合せ先・開発調査室(内線 2744)