

日中科学技術

No. 167
2018. 12. 20

発行所 特定非営利活動法人 日中科学技術交流協会

〒103-0003 東京都中央区日本橋横山町 3-1 横山町ダイカンプラザ 302 号

E-mail : jcstea@alpha.ocn.ne.jp

URL : <http://jst.in.coocan.jp/>

電話 : 03 (6661) 7929

Fax : 03 (6661) 7929

日中原子力交流の今昔

協会常務理事 永崎 隆雄



私と中国の関係は動燃事業団時代の1985年のイエローケーキ買い付けに始まる。当時私は人形峠事業所の製錬転換パイロットプラン

トを担当しており、その原料イエローケーキを世界各国から輸入する業務を行っていた。当時、日本と中国は原子力平和利用協定にサインし、日本から原子炉圧力容器を輸出し、中国からふげん原子炉の重水減速材とイエローケーキを輸入した。正に日中協力の象徴的業務でもあった。私はまず、北京で核工業総会社と業務の打ち合わせを行い、その後、鈹冶研究所を視察。その後、北京から衡陽の製錬所まで夜行列車で3日間を旅し、衡陽で一泊し、製錬所のイエローケーキ生産現場を視察し、検査検収を行い、そこから列車で上海に向かい、上海で1泊。積出港を視察し、帰国した。

1986年には動燃事業団と中国核工業総会社の間でウラン探鈹のプロジェクトが成立し、私は北京に事務所を設立する業務に関与し、4代の所長を北京に送り出

し、1997年3月には私も5代目所長として赴任し、2001年4月までの4年間を勤務した。相手方の地質局の人達と中国各地のウラン鈹有望地を旅し、日本の原子力施設に彼らを案内し、交流を深めた。

当時を振り返ると繁華街王府井では裸電球やアセチレン灯が灯り、幼い頃の日本を思い出させる懐かしい風情があった。当時、中国人は貧しく、日本人とは所得格差が20倍くらいあった。相手方の幹部は日本には30年経っても追いつけないと言っていた。しかし、物価が20分の1で安く、自由市場で食糧は自由に買え、不足物資は多かったけども生活は豊かだった。

当時、電気製品は日本が圧倒的に強く小型の電子計算機などが喜ばれた。

その後日本メーカーが中国に進出し、中国製品が安価になり、そして今やスマホやパソコンや電気製品は中国製品が世界を席卷している。原子力分野も同じ状況だ。中国は世界の最新鋭の原子力発電を導入し、多くの困難を克服し、今や世界に最新鋭の原子力技術を輸出し始めた。日本や米国は中国に負け始めた。長い歴史を見ていると奢れるもの久しからずである。いつまでも繁栄は続かない。しかし、団結は力なり、継続は力なりだから、日中交流協力はいつまでも続けてほしいと思う。

日中半導体技術の交流と高感度薄膜ホール素子の研究

公益財団法人 野口研究所 学術顧問 柴崎一郎

§ 1 日中半導体技術の交流について

中国科学院との技術交流のシンポジウムで、半導体分野での交流を要請された。ついては、協力してほしいとの要請を 2012 年初め頃、元金材研所長で日中科学技術交流協会理事の岡田雅年さんより受けた。半導体デバイス技術は、コンピューター、電子機器、情報・通信技術に深くかかわる。当時、半導体デバイス供給を輸入に頼っていた中国の電子情報産業が自立するには、LSI 技術や MEMS 技術等の最先端の半導体デバイス技術の取り込みが必須である。私は、中国科学院にとっては、日中科学技術交流協会の存在と技術交流の意義は極めて重要であり、更に、中国の半導体技術の入手、取り組みの本格化を感じた。小さな技術交流も、時として、大きな流れを巻き起こす要因になるからである。

中国側の期待は、私の専門の化合物半導体薄膜磁気センサ分野とは少し異なり、Si の LSI (大規模集積回路) や MEMS (マイクロエレクトロメカニカルシステム) 等の Si 系の半導体デバイス分野と思われたので、私は、この分野に詳しい東工大の益一哉先生 (現学長) に協力をお願いした。当時、益一哉教授は、激務の中から時間を捻出し、2012 年の上海での交流会での講演を快く引き受けていただいた。次年度の 2013 年 9 月に北京で行われた日中科学技術交流協会と中国科学院の交流シンポジウムには、半導体関係各社のメンバーと共に、私 (以下筆者) も参加し、筆者らが旭化成で開発したホール素子の技術

と毎年 10 億個を超えて使われる応用について報告した。このとき見学した中国科学院の電子技術の研究所のクリーンルームには最先端と思われる設備が並び、2000 年の国際会議の折に見学した時とは様変わりであった。

個人的なことで、恐縮であるが、高感度薄膜ホール素子の開発と実用化で、筆者は、平成 29 年度の電気学会業績賞、本年は、材料科学技術振興財団より第 18 回山崎貞一賞を半導体及び半導体装置の分野で受賞した。受賞理由は、[高感度薄膜 InSb・InAs ホール素子とその応用展開]である。日頃より親交のある岡田雅年理事に受賞の報告をした。暫くして会報に一筆書くようにとの要請を頂き、本稿を草することとなった。

III-V 族の化合物半導体では、ワイドギャップの GaN 系の材料、通信デバイスとして GaAs 系の材料が良く知られているが、InSb や InAs 等の狭ギャップ材料もホール素子の様な磁気センサ材料として極めて重要である。本稿では、筆者が体験した研究開発も含めた、高感度ホール素子技術について以下概要を紹介する。

§ 2 高感度薄膜ホール素子の開発の背景と技術

1970 年代後半、日本の電気メーカは、カラーTV に次ぐ大型商品として、家庭用 VTR、PC 等の開発に注力していた。システムの機械駆動用に、超小型で、ノイズ発生の無い、ホール素子を磁気センサとして使い、永久磁石回転子の回転を検出し、角速度を精密に電子制御

2018 (平成 30) 年 12 月 20 日

日中科学技術

No.167

できる超小型 DC ブラシレスモータ、別名ホールモータの開発が必要となった。

日本のホール素子の研究は、1960 年代初め頃の東工大の酒井善雄、大下正秀の InSb 蒸着の研究や電気試験所の片岡照栄グループによる研究があった。しかし、その後、半導体研究の主力は、Si の LSI や GaAs 等のデバイスに移り、以来、ホール素子は、手作りの磁界計測用プローブに留まり、磁界感度も低く、量産は不可、ホールモータには全く使えなかった。

一方、1970 年代中葉は、日本の電機・電子産業界が半導体技術に注力し、電子・電気機器への応用始めた時代である。また、オイルショックを経た日本の化学会社は、事業体質の変換を迫られ、異分野、異事業への進出を試みた時代でもある。その多くは失敗に終わるが、生き残ったものもあった。当時の旭化成工業 (株) も、例外ではなく、異分野への進出を目指し、エアバッグの開発や半導体の専門家も経験もない状況下、ホール素子の研究を手掛けた。

1974 年、筆者は、縁あって、旭化成工業 (現在の旭化成) 株式会社に入社し、ホール素子研究を担当した。物理学が専門で半導体ではなかったが、InSb や InAs 等の III-V 族化合物半導体の高い電子移動度とホール素子の将来性に着目し、研究に注力した。

筆者らは、半導体研究では素人であった。化学会社の半導体技術の研究開発は、当初は、設備や人材にも事欠き、社命の研究中止などもあり、曲折、至難を極めた。しかし、研究開始当時は、工業技術として疑問視されていた真空蒸着や分子線エピタキシー (MBE) 技術等の研究を実施し、工夫を重ねた。幸いにも、InSb や InAs の多結晶薄膜、単結晶薄膜、量子井戸等の工業的量产技術を世界に先駆け確立し、高感度の薄膜ホール素子を実用化出来た。

最初の成果は、1980 年代初めに技術

を確立した超小型樹脂パッケージの高感度 InSb 薄膜ホール素子の開発、実用化であった。次いで、InAs 単結晶薄膜ホール素子、InAs 量子井戸ホール素子等の超小型で、樹脂パッケージの高感度磁気センサを開発、実用化した。

最初の高感度 InSb 薄膜ホール素子開発では、In と Sb の 5 桁の蒸気圧差を制御し、高いホール効果を発現する $0.8\mu\text{m}$ 厚さの InSb 薄膜を薄いマイカ基板上に工業的規模で (一度に多数枚) で製作する、画期的な、従来比で 5~6 倍の $20,000\sim 30,000\text{cm}^2/\text{Vs}$ の電子移動度が得られる独自の真空蒸着法の確立が功を奏した。更に、この InSb 薄膜をフェライトで上下からサンドイッチして、フェライトの磁化を利用して 3~6 倍磁界検出を高感度化 (材料特性に頼らない物理的な高感度化) する磁界増幅構造を実用化した。図 1 は、製作したホール素子の断面構造である。常識には無かった半導体薄膜と磁性材料のハイブリッド的の素子内に取り込む集積化構造である。

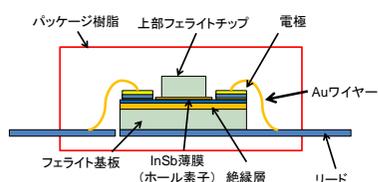


図 1 高感度 InSb 薄膜ホール素子の断面構造

開発したホール素子は、超小型の樹脂パッケージ製品で、当時の InSb ホール素子に比較して、20~30 倍の高い磁界の検出感度を有した。InSb 薄膜のホール効果を利用したので、世界で初めての 350Ω という高入力抵抗の薄膜ホール素子であり、1V の定電圧駆動が可能で、磁界検出信号であるホール電圧の温度依存性が、従来比で、一桁小さくなり、極めて実用性が高い磁気センサが開発出来た。図 2 は、高感度 InSb 薄膜

2018 (平成 30) 年 12 月 20 日

日中科学技術

No.167

ホール素子の写真で、(a) 本素子特有の高感度化構造を有するベアチップと (b) 市販の製品である。

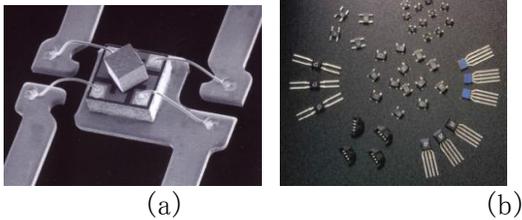


図 2 高感度 InSb 薄膜ホール素子写真、(a)パッケージ前のホール素子、(b)市販製品

このホール素子は、開発後、直ちに、角速度を精密に電子制御する超小型ホールモータの開発に供され、量産されたホールモータは、家庭用 VTR や PC 駆動のモータとして大量に使われ、VTR、や PC 等の開発と普及、更に言えば、高度成長期、電気・電子・情報産業の発展に大きな貢献をした。図 3 の写真は、このホール素子を 3 個使う PC 用 CD-ROM 駆動のホールモータである。

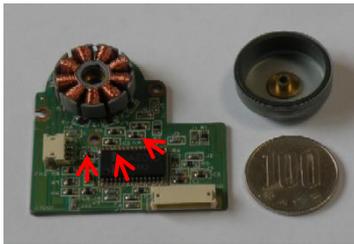


図 3、高感度 InSb 薄膜ホール素子 (赤矢印) を 3 個使う CD-ROM 駆動ホールモータ

次に、1980 年代当時、国際学会では極めて難しいと言われた、大型量産用分子線エピタキシー (MBE) 装置の開発に取り組み、工業的な大面積の真空蒸着装置開発の経験と独自の工夫で、2 インチ径の GaAs 基板 12 枚に同時に、InAs 単結晶や量子井戸を製作する MBE 技術を開発



(a)



(b)

図 4、(a) 12 枚の GaAs 基板上に成長した厚さ $0.5 \mu\text{m}$ の InAs 単結晶薄膜と (b) GaAs 単結晶基板上に製作した InAs 単結晶薄膜ホール素子

した。図 4 (a) の写真は、MBE 法で 12 枚の GaAs 基板上に成長した $0.5 \mu\text{m}$ 厚さの InAs 単結晶薄膜である。この技術により、最初に、Si ドープ InAs 単結晶薄膜ホール素子を実用化した。図 4 (b) にはパッケージ前の写真を示した。

次いで、InAs ホール素子の高感度化を狙い、構造や結晶成長など詳細は略すが、GaAs 基板上に、厚さ 50nm の InAs の量子井戸を MBE 法で量産製作し、この量子井戸のホール効果を利用し、世界初の InAs 量子井戸ホール素子を実用化した。この InAs 量子井戸は、極低温では量子ホール効果を示す。こうした筆者らの研究では、研究のための研究ではなく、最初から工業的な規模での薄膜製作を狙い、技術を確立し、実用化につなげた。

ホール素子の応用であるが、ホールモータは、当初は、マイクロモータとして電子機器に応用された。しかし、角速度の可変制御が出来るホールモータは本質的に省電力モータである。エアコンや各種家電機器の駆動のモータなど、動力用のモータの省電力化にも使われる。更に、ホール素子を磁気センサに使う非接触電流センサ応用も重要である。電力分野の大電流計測では早くから使われている。非接触電流センサは、昔からの電流計測に加え、近年は、制御用センサとしての機能が重視され、動力モータのインバータ制御に必須のセンサである。更に、EV、HV 等、自動車用センサ、電動バイク、省電力が必須の電池

2018（平成30）年12月20日

日中科学技術

No.167

駆動の電動工具等に応用される他、汎用の非接触センサとしても応用が広がる。

ところで、InAs系のホール素子の応用であるが、信頼性も高く、高感度、高出力であり、 -40°C 程度の低温から 100°C を超える温度範囲で安定駆動できる特性を生かし、各種の非接触センサ、非接触電流センサ用磁気センサとして、InSb薄膜ホール素子では難しい応用を中心に広く使われている。

筆者らが開発した薄膜ホール素子の計数情報であるが、推定市場シェア70%、2017年は、史上最高の17億個が使われた。開発以来の累積では、350億個を超える。半導体では、マイナーと思われた分野、素人の研究開発であったが、材料技術から手掛け、InSbやInAs等の薄膜や量子井戸構造を工業的技術として確立し、時の産業が必要とした高感度InSb・InAs薄膜ホール素子を開発実用化した研究開発の意義は大きいと言えよう。21世紀、AIやIoT、ロボテック

スが話題に上がるが、低コストで使える非接触センサ技術が必須であり、ホール素子も期待される。

筆者らは、科学的な視点も大切にしたい。特に、薄膜の磁界下の電子輸送特性を独自の視点で研究しホール素子製作に応用したこともホール素子開発の成功要因であった。InSbやInAsの薄膜、量子井戸等は、あまり研究されていた分野ではなく、ホール素子の開発を推進する上で必要となった薄膜や量子井戸に特徴的な磁界下の電子輸送特性の研究も実施した。得られた学術的な成果は、ホール素子開発に応用した。更に、論文としても発表した。今思えば、**科学を創り科学を応用**した研究開発であり、それが実際に役立った例である。

最後に、歴史ある日中科学技術交流協会の会報に、ホール素子について書く機会を頂き、協会関係者に心より謝意を申し上げる。

第1回金属及び核資源利用における化学・材料フロンティア国際シンポジウム（ISCMMN 2018、南寧）

日中科学技術交流協会 副理事長 山脇 道夫

本年(2018年)11月14~16日に中国広西壮族自治区南寧市の広西大学で開催された首記シンポジウム(1st International Symposium on the Chemical Material Frontiers in Metal and Nuclear Resources Utilization)に招待され、講演を行ってきたので報告する。本シンポジウムは、筆者の友人である韋悦周(Yuezhou WEI)広西大学教授(元上海交通大学教授)が主催者となって開始されたもので、その議題として次の5項目が挙げられている:

1. 金属資源利用の材料的フロンティア
2. 核資源利用の化学的フロンティア
3. 先進的分離技術
4. 希少金属回収とリサイクル
5. その他の関連課題

今回のシンポジウムに関するデータは、韋悦周教授によれば、参加者総数は約70名、そのうち中国から50数名、海外(日本、米国、ロシア、韓国、エジプト)から約20名であった。日本人参加者の中には当協会の会員である藤田豊久東大教授も含まれて

2018（平成30）年12月20日

日中科学技術

No.167

おり、藤田教授は本シンポジウムの名譽議長を務められた。発表論文数は口頭発表が36件、ポスター発表が約20件であった。印象に残った発表をいくつか以下に紹介する。

第1議題と第4議題に属する発表として、日本から2件の論文が発表された。藤田東大教授からは、種々な廃棄物からのレアメタルの回収・リサイクルの研究として藤田研究室が企業などと協力して進めてきた15課題について紹介された。IT機器、電池、磁石、蛍光灯、廃水、スラッグ、触媒など、現在の社会から排出されるあらゆる廃棄物からの回収が網羅されていた。大貫東工大教授からは、バイオ技術によるレアアースの回収の可能性についての報告があった。グラム陰性細菌とレアアースイオンとの化学反応性について、その速度論的研究やレーザ誘起蛍光分光による結合性研究などが報告され、バイオ技術適用の可能性が示された。

第2議題の発表としては、先ず初日冒頭の講演として筆者が水素吸蔵性に優れたウラン金属間化合物の探索について講演を行い、福井大・カリフォルニア大・名城大の協力で進められてきた科研費支援研究について紹介した。また先進的な原子力システムのための核燃料サイクルに関する発表として、現代物理研究所のZhi Qin教授からはADS（加速器駆動未臨界システム）のための炭化物燃料に基づく閉鎖的核燃料サイクルについて報告が行われ、上海交通大学からは小型炉SMRに関するシミュレーション研究が報告された。続いて上海応用物理研究所からTMSR（トリウム溶融塩炉）の核燃料サイクル研究の現状が報告され、韓国KAERIからは乾式再処理研究の状況について、特に溶融塩の基礎的な4f, 5f研究について報告された。

第3議題については、米国ノートルダム大学のP. C. Burns教授から、U原子60個を含むウラニール過酸化物からなるサッカーボール状ナノスケール・ケージの開発とその応用として使用済み核燃料からの核分裂生成物分離への適用について報告された。この研究は、西安交通大との共同研究に発展し、U24Fe12, U48V12などの新たな類似化合物の発見につながった。北中国電力大学からは、カーボンナノチューブ、グラフェン酸化物など、カーボンナノ物質による放射性核種の分離について報告され、官能基を表面につけることによる選択性の向上の可能性が示された。近畿大の野上准教授は、環状尿素化合物DMI, DMPVがウランの水溶液からの析出に及ぼす効果について興味深い結果を報告した。本シンポジウムの主催者の韋悦周教授は、シリカで保持したイオン交換樹脂による貴金属FPのPd, Ru, Rh, Tcらの回収性への樹脂の多孔性など諸特性の効果について報告した。

第5課題では、東工大の竹下教授から福島第2原発事故で汚染された粘土質土壌からのセシウム回収について、超臨界水を用いる高速イオン交換などの成果について報告があった。

会議が行われた南寧市は、広西壮族自治区の首都で、人口数百万人を数える大都市であり、地下鉄、高層ビルなどの建設がブームのような活況を呈している。沿海地区から始まった中国の経済発展が今やこの地を含む陸部にまで広がっている状況が見てとれた。資源豊富な本自治区の研究開発課題として、本シンポジウムのテーマは時宜にかなっており、地元、大学本部ともに大きい期待を抱いていることが読み取れた。

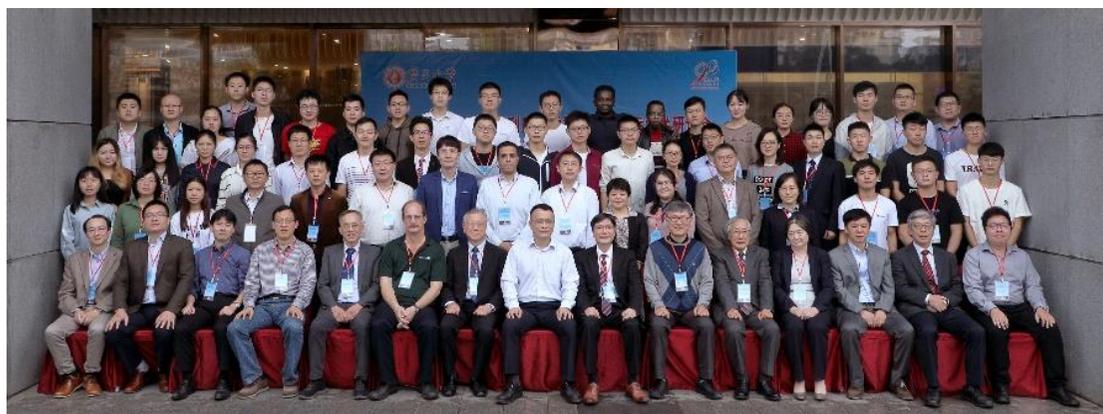


図1. ISCMMN 2018の記念集合写真



図2. 広西大学・資源環境及び材料学院前にて参加者の一部

猪に因む話

副理事長 山脇 道夫

今年猪の年で、十二支の最後の年に当たっている。日本では野生の猪だが、中国では家畜の豚を指しているとの俗説がまかり通っているようであるが、文献を繙いてみると、そうではないようである。

中国では、野生の猪と、家畜化され食肉に供される豚とは、文字の上で特に区別されていないようで、亥とも、猪とも、また豕とも書かれるほか、さらに多くの漢字が当てられているとのことである。地方によって名前を異にするほか、年齢、雌雄、大

小によっても名前が違うという。それらの漢字は複雑極まるもので、初めて目にするものが圧倒的に多く、さすがは文字の国だけあると感嘆させられる。

日本では、「いのしし」のほか、「いのこ」とも、また単に「しし」とも呼ばれていて、「いのこ」に因んで色々習俗、行事があるとのこと。たとえば、「いのこ祝」といって、陰暦10月上旬の亥の日の亥の刻に、「いのこ餅」という餅を食べる祝いがあるそうで、それを食べると、万病を除くマジナイになり、また子宝に恵まれるとも言われているという。子宝に恵まれるということは、イノコが多産であることからのゆかりであることを示している。そういえば、西日本で盛んな祭りとして、「いのこ祭り」と呼ば

れる行事があり、筆者も子供のころ郷里の広島で毎年よくそれに参加していた記憶がある。やはり、陰暦10月の亥の日と思われる日の夕刻に漬物石のような石に縄を多数括り付けて、その縄の端を中学生以下の子供たちが1本ずつつかんで一斉に引っ張り上げては、次の掛け声をかけながら石を地面に叩きつけていくのである：「いーのこ、いーのこ、いーのこ餅ついて、繁盛せー、繁盛せー。」子供たちは、集落の家々を訪ねて、家の前で掛け声を挙げては石を叩きつけることを繰り返すと、各家からは家人が駆けつけて子供たちに菓子や

餅などを与える。その点は、後年米国で見かけたハロウインの祭りと類似しているように思われる。イノコは、多産と繁栄をもたらしてくれる縁起の良い動物とされていたことが分かる。

ところで、十干十二支は、中国では殷の時代にはすでに使われていたそうであるから、日本のそれは中国起源であることは疑えないが、中国のそれはオリエント起源であるとする説もあるようだ。十二支は1年が12か月からなっていることに対応しており、シュメール起源の黄道十二宮がその起源という説にはロマンが感じられる。

第56回理事会

日時：2018年10月29日 於 協会事務所

1. 2018年度中国人留学生研究奨励賞

藤崎副理事長より今年度は6件の応募があったことが報告され、今後の選考手順の案が示された。審議の結果、選考委員長に藤崎副理事長を選任し、選考の日程、選考委員の人選については委員長に一任することを決定した。

2. 報告事項

① 2018年度会計中間報告

本年度上期の収支状況と下期の見通しについて報告があった。

② 会費納入状況と会員資格喪失

2016年度、2017年度、2018年度の会費の納入状況について報告があり、2016年度・2017年度会費の滞納者22名は原則として定款第9条第3項に基づき会員の資格を喪失したものとすることを了承した。ただしこの期間中に会員としての活動が認められる者11名については過年度分を含めて再度会費請求を試みることにした。

1. 中国人留学生研究奨励賞受賞者の決定選考委員会の報告に基づき以下の受賞者を決定した。

①電気通信大学ポスドク研究員

丁超氏

②中国核動力研究設計院研究員

段振剛氏

③千葉大学大学院博士課程3年

アイスリタン・メメティエリ氏

目次

1. 日中原子力交流の今昔 常務理事 永崎隆雄	1
2. 日中半導体技術の交流と高感度薄膜ホール素子研究 協会会員、野口研究所学術顧問 柴崎一郎	2
3. 第1回金属及び核資源利用における化学・材料フロンティア国際シンポジウム (ISCMN 2018、南寧) 副理事長 山脇道夫	5
4. 猪に因む話 副理事長 山脇道夫	7
5. 第56回理事会	8
6. 第57回理事会	8

第57回理事会

日時：2018年12月12日 於 協会事務所