

Title	核融合と超電導
Author(s)	岡田, 東一
Citation	大阪大学低温センターだより. 4 P.7-P.9
Issue Date	1973-10
Text Version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/11094/7388
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

核融合と超電導

工学部 岡田 東 一

1942年の夏のある日米国はバークレイのとある屋根窓付きの部屋で大きな目玉だけぎょろつかせた数人の男が討論をしていた。テラーという男の示した計算の結果は人類存亡の鍵を握る衝撃的なものであった。それは原子核分裂爆弾推進計画の討論のさ中で生れたアイデアの一つで核分裂爆弾を重水素でつんだ時に発生する高温はどの位に達するかというものであった。彼が黒板の上に示した数字は重水素の核融合反応に十分な高温、従って全く新しい型の強力な爆弾を作り得る可能性を示していた。それだけではない、最も重大なことはそのようにして得られた高温は重水素同志の融合反応に充分なだけでなくその反応の生成物とチッ素との間の連鎖反応をも維持するにたるに充分であった。いうまでもなくこの結果は1ケの水素爆弾の誘爆が全地球を太陽に近い高温の火の玉にすることを意味する。原子爆弾製造推進計画の最高責任者オッペンハイマーの足がふるえて止らなかったのも無理はない。彼はベータ理論グループと共に直ちに確認の計算を急いだ。『……彼らは科学の歴史における高まりの一瞬に居あわせていたのである。そうしたとき物理学者達の顔は超自然なことがらに思いをこらして大きく冷くすわった両の目だけになってしまう』⁽¹⁾

核分裂エネルギーは不幸にも実戦に利用され人類の歴史に深い悔恨を残すこととなったが一方平和利用の方はフェルミの原子炉に続いて実用化が着々と成功をおさめている。しかし人類にとって最後の火ともいえる核融合エネルギーの平和利用即ち「水素爆弾をカンズメにする」という巨峰を征服する道はさすがに困難を極めている。『熱核融合反応の制御が20年後には可能となろう』と1955年に予言したインドのバーバー博士の期待に答えるにはあと一年余りしかない。しかし最近高温プラズマの研究の著しい進歩から推測して1980年頃にはScientific Feasibility Test を完了し零出力炉を作る。1980年代の末に実験炉、1990年代半ばまでに原型炉、そして2000年初頭に商用炉（実用炉）を実現しようというのが現在世界の各国で核融合炉の実現を目指す研究者の共通の意気込みであるといえよう。水爆のカンズメには二つの基本的な方法が考えられている。1つは強力なレーザーを用いて重水素と三重水素の固体状混合物をねらい打ちすることによって急激な加熱を実現し融合反応を起させようという「ウルトラミニ水爆」的な手法、今1つは磁場を用いて1億度以上の高温プラズマを閉じ込め融合反応のエネルギーを取り出そうという手法である。核融合炉工学において大型超電導マグネットがどうしても必要となるのは後者の場合であり、その理由は主としてマグネットの運転のための電力が常電導マグネットではあまりに大きくなりすぎるからである。

さて、1908年の夏オランダのライデン大学の低温研究室では前日から70リットルの液体空気と20リットルの液体水素を使って歴史的な実験が行われていた。当時地球上で「液化」を拒みつけて来たただ1種類のガス「ヘリウム」の温度はこの日も予想のほか下らず実験者達は疲れ果ててその日の液化実験には殆んど絶望しかけていた。準備した液体水素が殆んど尽きた頃、実験者の一人シュラーマイケルスが液化機の底の液面を照らし乍ら大声でわめいた。……時に7月10日午後7時30分⁽²⁾地球上の全ての気体を液化しようとした執念の男カーメリンオンスの前に液体ヘリウムが頭を下げた一瞬である。頭が禿げ上りファイトの塊のようなオンス教授はその3年後には液体ヘリウムを使って超電導現象を発見

(1911年)するや、直ちにこれを使って強い磁石を作ろうという意欲を示した。彼の用いた材料は臨界磁場が低かったためにその創造的試みは成功しなかったが1957年にNb₃Snなどの画期的な材料が、Matthiasらにより発見されて、以来100Kgauss以上のマグネットも続々と開発が続けられている。

所で現在世界各国が精力的に研究開発に取り組んでいる核融合炉心は重水素と三重水素からなる高温プラズマである。温度が10⁸°K プラズマ密度と閉じ込め時間の積が10¹⁴ (sec/cm³)以上になると核融合エネルギーが取り出せる。このエネルギーはその80%が14MeVの高速中性子の運動エネルギーとして炉心プラズマから出てくる。これを有効に熱として取り出すために又中性子トリチウムの(n, α)反応を利用して燃料の三重水素を作るためにブランセットと呼ばれる層がある。この外側に放射線シールド層があり更にその外側に超電導マグネットコイルがおかれる。現在の所炉心プラズマを入れる容器の壁は約1000°Cと考えられておりこのためNb, V, Mo及びそれらの合金系の高温耐熱材料が研究・開発されつつある。多くの核的・熱的問題があるが実用炉段階では一番外側にある超電導マグネットは大型であり100~150Kガウスの強磁場を必要とし形も複雑であるため建設費に占める割合が非常に大きい(30~50%)。大きさの1例としてウイスコンシン大学での設計例を考えると電気出力1000MWの炉で中心磁場が5.15テスラのトロイダルマグネットではプラズマの半径を2.5mとするとマグネットの副半径5m, 主半径12.5mとなりその全重量は15,000tonにも達するといわれている。⁽³⁾ 核融合炉用超電導マグネットは遮蔽を施しても約10⁹ (n/cm²/sec)程度的高速中性子照射の下で動作しなければならない。このため超電導材料、マグネットの電気絶縁材料、マグネット構造材料に対する中性子の照射損傷特に低温照射効果が問題となる。実用核融合炉用大型超電導マグネットは10¹⁰ジュール以上の電磁エネルギーを有するので製造・運転・保守に関連し信頼性・安全性の見地から今後の大型機器のCryogenicsの発展が望まれる。最近は冷凍機も大型のものではタービン式のものが開発され無人運転で10²~10³時間の連続運転が可能になりつつある。このように今後益々巨大科学として発展すべき運命を持つ核融合炉工学は恐らく超電導の大規模な応用を含む低温工学に対して大きな未知の開拓地を提供すると同時に又低温工学に対して従来みられなかった苛酷な条件を要求するユーザーの役割ももっている。

この小文の冒頭にかかげたくだりは人間がその昔開けたパンドラの箱の一番奥底で両刃の劔がみつかった場合を連想させる。水素爆弾が一つ間違えば人類の終末をも意味し得る位の大それたものであった

だけにその平和利用の成功は人類を将来のエネルギー問題から解放し得るだけの偉大な力をもつものではあるが全人类的な努力なしには手に入れ難いものに見える。人類は火を見つけて飛躍的に生活を向上させたが人類が最終的に利用しようとしている火は1億度以上の超高温であり、これを閉じ込めるために、人類は地上で最も低温の寒剤——液体ヘリウムを使用することを運命づけられていることは又興味深い。標題の核融合と超電導は又超高温と超低温の融合をも意味するといえる。最後に炉心プラズマ容器用の耐熱材料として最有力候補にあげられているNb, Vと いう元素が又実用超電導材料として最右翼のNbTi, Nb₃Sn, V₃Gaなどの主要元素であることを見出して鬼の首でもとったように興味深く思いたがるのは筆者の行き過ぎであろうか。

(1973. 9. 24)

参 考 資 料

- (1) N. Pharr Davis, 著, 菊池正士訳
“ローレンスとオープンハイマー” タイムライフインターナショナル (1968)
- (2) 奥 田 毅,
“極低温の世界” 科学情報社 (1970)
- (3) W. C. Young and R. W. Boom,
“Materials and Cost Analysis of Constant-Tension Magnet Windings for TOKAMAK Reactors”
4th International Magnet Conference, Brookhaven (1972).

第 10 回 低 温 研 究 会

10月8日に第10回低温研究会が開かれ、工学部、産研から25名の参加者があった。当日の講演者と講演題目は次の通り。

岡田東一氏 (阪大工・原子力) “アルカリハライドのラディエーションハードニング”
片岡俊彦氏 (阪大工・精密) “固溶体の機械的性質”

なおこの低温研究会は今回より工学部低温工学研究連絡会(昭和48年夏設立)が主催し、対象とする温度を従来の極低温から室温以下すべてとすることになった。また開催回数を増し、一ヶ月に一度の予定をたてている。