

旧ソ連のプラズマ・核融合研究者の群像

—カピッツァとランダウ—

上原和也*

The plasma fusion researcher in old Soviet Union —Kapitza and Landau—

by

Kazuya Uehara*

Abstract: The research for plasma physics and the controlled nuclear fusion in the old Soviet Union were reviewed. In this article, the history of fusion research including the hydrogen bomb development is shown going back to the explanation of the principle of sun as an energy source by Helmholtz and the Nobel prize lecture for nuclear fusion by Kapitza, in which he gave this instead of his low temperature physics research, is shown including the relation to Landau. The reason why the realization of fusion program has been so delayed are tried to explain raising the weak point of tokamak machine and two candidates of new idea of alternative fusion method are given.

Key words: plasma physics, controlled nuclear fusion, old Soviet Union, hydrogen bomb, Nobel prize lecture, Kapitza, Landau, tokamak machine, tokamak alternative physicist group, old Soviet union

概 要

旧ソ連のプラズマ物理学と核融合研究者についてのレビューである。この報告では水爆をも含めた核融合研究の歴史がヘルムホルツによるエネルギー源としての太陽のメカニズムの説明に遡って述べられる。カピッツァのノーベル賞講演は受賞理由の低温物理学ではなく核融合についてであった。これを含めた弟子ランダウのことについても触れられる。核融合開発が遅れている現状をトカマクの弱点を交えて捉え、代わりとなる新しいアイデアについて述べられる。

1. プラズマ核融合研究の歴史

1. 1. ヘルムホルツから ITER まで

核融合は恒星と同じようなエネルギー源を地上で実現して、そのエネルギーを人類が使おうという試みだが、太陽の熱源のメカニズムについて明らかにされたのは20世紀になってからである。19世紀には、Helmholtzなどは太陽の熱源を重力によるポテンシャルエネルギーで説明しようとした。量子力学を使って核のポテンシャルで星のエネルギー源について、最

* 日本原子力研究開発機構 (Japan Atomic Energy Agency)

初に説明した論文は、トンネル効果に言及したロシア生まれの物理学者 George Gamow のものである。その後、Hans Arbrecht Bethe の研究で星の核融合は解明されるが、Bethe が星の核融合の理論を本格的に作ったのは、アメリカでの天文学者と物理学者とのワークショップだった。ジョージ ワシントン大学で開かれたこの研究会に出席した Bethe は、イサカに大変興奮して帰ってきたと、当時 Bethe の大学院生だった Marshak が述べている [1]。この研究会から2週間もしないうちに Bethe は星の核融合についての理論を作り上げた。ソ連では、1946年に Landau が高周波によるプラズマ加熱の基礎になるランダウ減衰の論文を書いている。その後、1950年には Sakharov と Tamm によるトカマクによる磁場閉じ込めのアイデアがなされた。アメリカでは核融合の研究計画である Sherwood 計画が発足し、プリンストンで天体物理学者の L. Spitzer がステラレーター（「星の機械」という意味か？）のアイデアを出したり、ロスアラモスで Z ピンチの実験、リバモアではミラー磁場による実験が行われている。トカマクの全貌が明らかにされたのは Sakharov 達のアイデアから、15年後の1965年のカラムでの第2回 IAEA 核融合会議での Artsimovich の講演である。

アメリカでは、原爆の次の核兵器として、核融合のエネルギーを原爆のエネルギーを利用して解放する水素爆弾が開発されていた。最初は「マイク・ショット」と呼ばれる、10.4 M (メガ) T (トン) の乾式水爆がテストされた。これは全体の重さが65トンもありとても兵器に使えるような大きさではなかった。Edward Teller はカリフォルニア大の地震計により実験成功の瞬間を知りロスアラモスへ『男子誕生』と打電したという。翌々年には、実際に、飛行機に搭載可能な小型のものに、作り上げ、ビキニ環礁で実験が行われた。これは「ブラヴォー・ショット」と呼ばれ、15 MT で、重水素化リチウムを燃料にしていた。ビキニ環礁の核実験では、焼津港の第五福竜丸事件が160 Km 東方から、放射線を浴び、久保山愛吉さんが被ばくした。その後、ソ連は核分裂燃料と核融合燃料を交互に重ねたレーヤークーキ型と呼ばれる水爆を開発して、中央アジアのセミパラチンスクというところで実験を行っている。その後、水爆はイギリス、中国、フランスが実験を行っている。

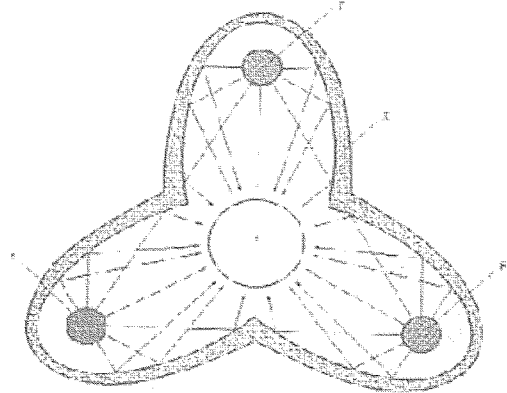
核融合ではアメリカはトカマクの性能が確認されると、ステラレーターをトカマクに改造した実験を行った。日本では1961年に名古屋大学にプラズマ研究所が作られ、原研ではトカマクの研究が開始された。トカマクは順調に実験が進展して、TFTR と JET では D-T 反応で核融合出力 $Q = \text{核融合出力} / \text{加熱入力} = 0.27 \sim 0.62$ が得られている。さらに、次期装置として国際熱核融合炉 ITER がフランスに建設されることになった。表1に核融合研究の歴史を示す。

表1 水爆研究を含めた核融合研究の歴史。

1854 [安政元年]	太陽の熱源の重力ポテンシャルによる説明【独】 [H. von Helmholtz]
1874 [明治7年]	物質の第4の状態の発見【英】 [W. Crooks]
1905 [明治38年]	初の静電プローブ【独】 [J. Stark et al., Annalen der Phys. 18, 212 (1905)]
1927 [昭和2年]	プラズマの命名【米】 [I. Langmuir]
1928 [昭和3年]	トンネル効果【米】 [G. Gamow & F.G. Houtermans, Z. Phys. 52, 469 (1928)]
1929 [昭和4年]	星のエネルギー源の解明【米】 [R.d'E. Atkinson & F.G. Houtermans, Z. Phys. 54, 656 (1929)]
1939 [昭和14年]	星のエネルギー源の解明【米】 [ハンス・ベーテ]
1946 [昭和21年]	ランダウ減衰の理論【露】 [L. D. Landau, J. Phys. (USSR) 10, 45 (1946)]
1950 [昭和25年]	超高温がスの磁場閉じ込めの構想【露】 [サハロフ・タム]
1951 [昭和26年]	Sherwood 計画【米】 [米原子力委員会]
1951 [昭和26年]	ステラレーターの提案【米】 [L. Spitzer Jr.]
1952 [昭和27年]	超高温がスの磁場閉じ込めの実験【露】 [サハロフ・タム・クルチャトフ]
1952 [昭和27年]	水爆基礎実験成功【米】 [リチャード・ガーウィン] 他
1955 [昭和30年]	「人類は20年以内に核融合を得る」と演説（第2回原子力平和利用国際会議、ジュネーブ）【印】 [バーバ]
1955 [昭和30年]	水爆実験に成功【ソ】
1957 [昭和32年]	ローソン条件の導出【英】 [ローソン]
1957 [昭和32年]	水爆実験成功【英】 (クリスマス島)
1958 [昭和33年]	ZETA 計画【英】 [Nature 181, 217 (1958)]
1965 [昭和40年]	トカマクの全貌を発表（制御核融合研究に関する第2回国際会議, Culham）【露】 [L. A. Artsimovich]
1967 [昭和42年]	水爆実験成功【中】 (ロブノール実験場)
1968 [昭和43年]	水爆実験成功【仏】 (ファンガタウ環礁)
1979 [昭和54年]	JFT-2 トカマクで高周波電流駆動実験【日】
1995 [平成10年]	TFTR で D-T 核融合実験 ($Q = 0.27$)【米】
1997 [平成10年]	JET で D-T 核融合実験 ($Q = 0.62$)【EC】
2005 [平成18年]	国際熱核融合炉 ITER の建設地フランスに決まる【EC】

1.2 水爆研究に従事した米ソの物理学者

原爆は、第2次世界大戦の終結の手段として、ドイツや日本に向けられたものであるが、水爆は第2次世界大戦後の米ソの冷戦の産物と言えよう。この開発には多くの物理学者が、かり出されており、アメリカでは、Enrico Fermi, Edward Teller, Marshal Rosenbluth, Robert Oppenheimer, George Gamow, von Neuman, Stanislaw Ulamなどが水爆の研究に



F: fission bomb T: fusion fuel E: reactor wall

図1 Teller Ulam 型水爆配位。

上述の Artsimovich は水爆の付加燃料に必須のウランの同位体分離法を確立した。Leontovich は核兵器開発の理論を担当したが、その後、プラズマ物理の教科書を幾つも書いている。Landau は核兵器の計算でスターリン賞を授与されているが、後にこんなことは嫌いだたと述懐している。

水爆は、核分裂のエネルギー (X線衝撃波) で重水素燃料を加圧加熱させて、核融合反応を引き起こすものである。図1は Teller-Ulam 型配位と呼ばれる水爆の模式図で、外側の核分裂による原爆 (F) を爆発させ、この時に出る X線等の放射エネルギーで中心にある核融合燃料 (T) を圧縮加熱して、核融合反応を起こす [2]。この方式でブラボーショットがなされた [3]。

2. カピツァーの核融合

2.1 Les extrêmes se touchent

プラズマ物理学についてのノーベル賞はスウェーデンの Hannes Alfvén が1972年に受賞しているが、これはスペースプラズマについての業績で、核融合についてはまだ誰も受賞していない。ところが、ノーベル賞講演で受賞理由とは全く別の話しをした物理学者がいる。P. Kapitza は低温物理学に対する貢献で1978年度の物理学賞を受賞したが、彼のノーベル賞講演は低温物理学についてではなく、核融合についてのものだった。スウェーデンの王立アカデミーでの授賞式で、Kapitza は「低温物理学の研究はもう30年前に辞めて、今、熱核融合反応の現象を研究している。このテーマの方が、私の過去の低温の仕事よりも、講演のテーマとして興味深いと私は思う。何故なら (フランスの諺で) Les extrêmes se touchent (レ エクストレーム ス タクション「両極端は繋がる」) というから」と述べたという [4]。Kapitza は英国のケンブリッジ大学に留学して、Rutherford のところで実験を行い、その当時世界最大の30万ガウスの強磁場装置を作ったが、1934年の夏メンデレーエフ100年祭に出席するためにソ連に一時帰国した際、クリムレンは彼の再渡英を許さず、それ以降 Kapitza は外国に行くことはなかった。Rutherford は国家的偏見を捨てて、彼がケンブリッジで使用していた強磁場装置をソビエトに送り返したというエピソードは、余りにも有名である。Kapitza が所長を勤めたモスクワの物理問題研究所と一般物理学研究所は、Landau がランダウ減衰の論文を書き、Tamm と Sakharov がトカマク概念を考案し、Leontovich が有名な Review of Plasma Physics の著作をものにするな

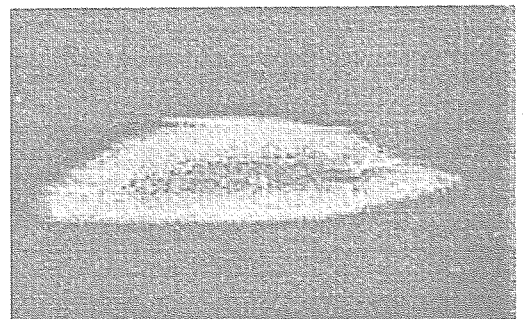


図2 カピツァーのコードプラズマ。高出力 $P = 14.7 \text{ kW}$ 、高圧力 $P = 3.32 \text{ atm}$ での5%のアルゴンが入った重水素混合ガスの帯状放電の写真。放電の長さは $\sim 10 \text{ cm}$ で、放電の左端は窓でブロックされている。

ど、さながらプラズマ物理・核融合分野でも揺りかご的な研究の場であったと言えよう。Kapitzaは弟子のLandauが反スターリン運動に関与したとして逮捕された時、身を挺してLandauの釈放をスターリンに訴えたが、Kapitza自身も上に述べたようにソ連の核兵器開発計画の責任者となることを拒み、物理問題研究所長とモスクワ大学教授の職を解かれている。研究の場を奪われたにもかかわらず、Kapitzaはモスクワ郊外のニコリヤ・ガラの別荘を改造して、実験室を作り、自ら旋盤操り、研究を行った。Landauは毎月のようにここを訪問してKapitzaを元気づけたという [5]。

2.2 高周波加熱による高温高密度プラズマ

スターリンの死後再び再び物理問題研究所長に復活したKapitzaは、異色な核融合研究を行なった。トカマクや慣性核融合については、その実現性に疑問を挟んだ上で、大出力の連続的なマイクロ波発振器を開発している時に、偶然高い温度のプラズマ現象を発見したとして、この高周波加熱されたプラズマでの核融合炉の可能性を述べている。マイクロ波発振器の波長 l は20 mm (従って周波数 $f = 1.5$ GHz)で、(この発振器の原理はマグネトロンと同等で“Nigotron”と呼ばれている)。1950年の始め、10 cm Hg気圧 (= 0.1気圧)のヘリウムを満たした石英の球体から高出力のマイクロ波が放射され、はっきりとした境界で発光が数秒間続き、高温プラズマが共鳴器の壁に直接接触していない状態を観測したという。放電に使ったパワーは15 kWまでで、圧力は25気圧に達した。圧力を高くすればするほど放電は安定して境界の形もくっきりする。放電の写真を図3に示す。プラズマの伝導度の測定と能動的及び受動的な分光測定により放電の中心部は高温で、その温度は106 K (= 100 eV)以上であることがわかった。数mmの空間におけるプラズマコードの境界で106 K (= 100 eV)以上の温度の不連続性があり、表面が極めて高度な熱絶縁層の存在を示していた。最初は、このような層の存在は疑わしいと思われたが、いろいろな方法によるプラズマ診断によってこれを確認している。この温度ジャンプは、境界で顕著な電荷2重層(ダブルレイヤー)が生成され、高温では電子が境界で散乱され、反射される電子の存在を仮定すれば説明できるとしている。得られているプラズマの密度は 10^{21} m^{-3} 電子温度は $T_e = 3 \text{ keV}$ 急激な温度勾配 10^5 eV/m は現在のトカマクの負磁気放電で得られているものと同程度である。中性ガスを放電管内に封入して圧縮器を使って回転させ、壁から高温プラズマを離す工夫をしている。Kapitzaは強力な電子加熱をした後、磁場を有効に使う閉じ込めの良い状態で衝突による緩和のみで熱核融合反応が十分起こせるイオン温度が達成できるとしている [6]。

3. トカマクと Alternative 核融合

インドのBahba博士は1955年に人類は今後20年後に制御核融合を手にするであろうと演説したが、確かに、1973年頃日本の東京大学の先生が述べている解説では、「…ヨーロッパ共同体(EC)のエネルギー担当は核融合制御がここ10~20年の間に陽の目をみないときは、地球はその開発を諦めて外の方法を探さざるを得ないという見解を述べた」とか「大河千弘氏は5年と言えば嘘になるが、15~20年と言えば予算はつかなくなると述べていた」とある、さらに「核融合の可能性は1990年頃実験炉として実現して2000年頃商業ベースに乗る」とも述べられている [7]。Bahba博士の言う20年後の1975年はとっくに過ぎたし、2000年も過ぎた。

3.1 トカマクの問題点

トカマク装置の第一の問題は、炉の規模が大きすぎて(ITERで主半径 $R = 8.1 \text{ m}$ 、小半径 $a = 2.8 \text{ m}$ 、トロイダル磁場 $B = 5.7 \text{ T}$) [8]、現在実用化されている核分裂を利用する炉(直径0.5 m)に比べて甚だしく非効率ということである。トカマク装置では、プラズマの密度 n が低いのも難点である。プラズマの密度 n を今($n = 10^{20} \text{ m}^{-3}$)の10倍程度上げることが出来れば、閉じ込め時間は0.1~1秒で済み装置の大きさは半減できるが、トカマク装置で密度を上げるにはトロイダル磁場 B をそれに合わせて上げる必要があり、ますます装置は大きくなる。さらにこのクラスの磁場ではプラズマからのシンクロトロン放射によるエネルギー損失が大きくなり、プラズマの温度を上げることが非常に難しくなる。さらに、具合の悪いことは、トカマク装置では核融合反応に重水素DとトリチウムTを用いるので、核

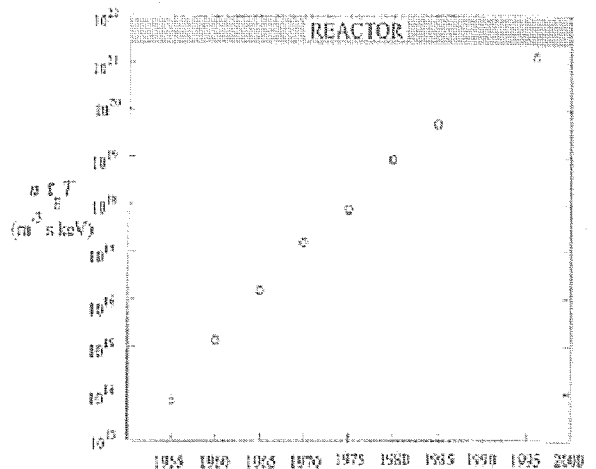
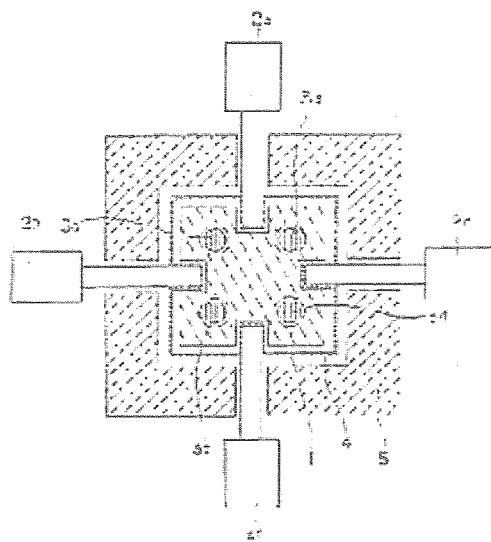


図3 世界のトカマク装置で得られている年次毎の核融合積 (n : 密度, t_p : エネルギー閉じ込め時間, T : プラズマの温度)。

融合反応で出てくる 14 MeV の中性子により真空容器が放射化されてしまい、現在の核分裂を利用する炉程でないにしても、放射性物質のハンドリングが非常にやっかいな問題になる。デスラプションの回避も大きな課題である。デスラプションはプラズマ電流が何の予告もなしに（トロイダル磁場はちゃんと持続しているのに）切れ、高温プラズマの閉じ込めが破れる現象で、真空容器に発生する渦電流とトロイダル磁場とで過大な電磁力が真空容器を直撃する現象である。しかしながら、トカマクによるプラズマは年を追う度に装置がスケールアップされて、性能が向上し、図3に示すように炉（reactor）に必要とされる核融合積（ $nt_p T_i \sim 3 \times 10^{21} \text{ m}^{-3} \text{ sec keV}$ ）に大きく迫っているが [9]、装置を大きくすることは、多くの建設費と時間がかかる大きな原因になっているのは否めない。

3.2 Alternative 核融合

トカマクに替わる（アルタネイティブ）核融合装置としては、Zピンチ、逆転磁場ピンチ（FRP）や逆転磁場配位（FRC）および、スフェリカル・トカマクなどがあるが、共に高密度高温低磁場、即ち高ベータプラズマの達成ということを目指している。核融合出力はベータ値の2乗に比例して増大するので高ベータである程都合がよい。さらにこれらの装置は核融合反応の燃料に重水素 D とヘリウム 3 (He^3) を想定して放射性物質のハンドリングの問題を回避することを考えているが、実現には D-T 反応のプラズマパラメータを 1 桁上回る必要が有る。しかし、問題なのはいずれも（トカマクと同じように）電磁誘導の原理でプラズマ中に電流を流し、その電流が作るポロイダル磁場を高温プラズマの有力な閉じ込め手段に使おうとしていることである。金属の導体ではなくプラズマ自身を加速させて電流を流す電磁誘導によるこの方法は、高温プラズマ中の導体の熱負荷の回避の問題から使われるようになったが、プラズマ電流の流し方があなた任せになり、極めて不安定である。FRC プラズマは理想的な磁場配位に近く、かなり密度の濃いプラズマができるが寿命が非常に短い。ステラレータは外部コイルの使用で磁場を作っているのですがこのような心配は回避しているが輸送はトカマクと同じ異常拡散である。2 番手として、最近スフェリカル・トカマクが建設されるようになったが、これが炉につながるものかどうかは不明である。以上 Alternative 核融合は色々あるが、ここではあまり取り上げられない 2 つの方式を述べる。1 つは常温核融合（Cold Fusion）からヒントを得ている格子内核融合（In-Lattice Confinement Fusion, LCF）で、もう一つは核融合の本家ロシアの研究者のアイデアであるトルネードである。



1：炉心（重水素吸着 Pd） 2：D-Tパルス加速器
3：ブランケット 5：遮蔽体

図4 LCT核融合模式図。

3.2.1 LCF（格子内核融合）炉

この方式は核分裂研究者から提案されている。常温核融合は怪しいものになっている（まだ続けているグループもある）が、パラジウム（Pd）、ジルコン（Zr）、チタン（Ti）などの金属が、水素を高密度で吸蔵することを基にしている。その密度は、 10^{22} cm^{-3} 程度に達し（固体内プラズマ、ただし温度は低い）、 1 cm^{-3} の体積でトカマクにおける密度 10^{14} cm^{-3} での体積 100 m^3 に相当する。一方、加速器による D-T 中性子源における Q 値は 10^{-2} 以下であって、当然このままではエネルギー源（ $Q \gg 1$ ）にはなり得ない。そこで発生した 14 MeV 中性子エネルギーを利用して Q 値を上昇させる方策を考えることになる。それには、D と T を十分に吸蔵した $1 \sim 2 \text{ m}^3$ 程度の Ti (or Zr)、しかし Pd は高価すぎる）ブロックに高強度パルス 14 MeV 中性子束を照射する案が浮かぶ。そうすれば、高速中性子の減速過程で、吸蔵 T・D が、選択的に加熱される。何故なら、高速中性子が陽子（水素原子核）に正面衝突すれば、中性子の全運動エネルギーは、陽子に移り、中性子は止まるが、重い金属原子の核との衝突では、極く一部のエネルギーしか移行しない（減速材の質量数 A に依存するから）。この様な状況下で、炉心内各所で D-T、D-D 反応が準連鎖反応的に起こることになり、したがって、Q 値も上がる。ローソン条件は、 $n\tau > 10^{20} \text{ m}^{-3} \text{ sec}$ であるので、トカマクでは $n = 10^{20} \text{ m}^{-3}$ 、 $\tau = 1 \text{ sec}$ 程度でこれを達成しようとしているのに対して、LCF では、 10^{22} cm^{-3} (10^{28} m^{-3})、 $\tau = 10^{-8} \text{ sec}$ の閉じ込め時間で達成するとしている [9]。図4に LCF 炉の模式図を示す。この案は、常温核融合、D-T 中性子源、プラズマ核融合（磁気核融合、慣性核融合）と核分裂炉のある要素を取り出し、再構成したものと見なされる。

3.2.2 トルネード

磁場の強さがプラズマ中心で弱く外側に行くにつれて大きくなる磁場配位（極小磁場）は、磁気流体力学的な不安定性に

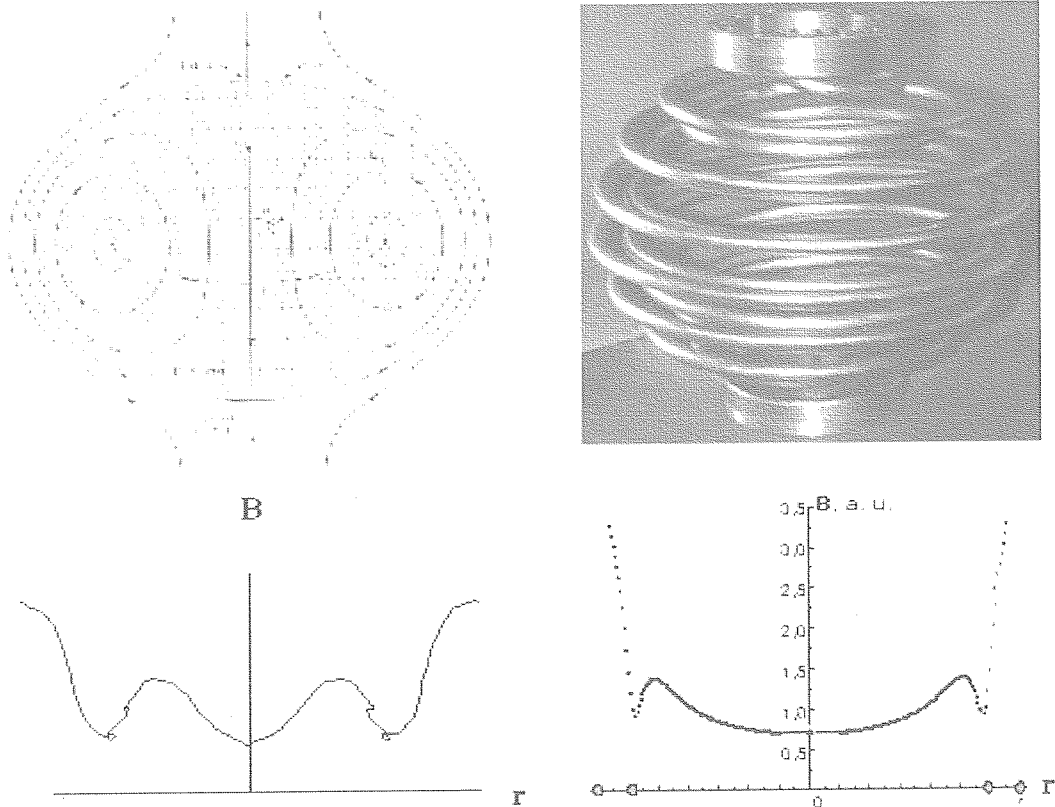


図5 スフェレーター（左）とトルネード（右）プラズマの磁場分布。

強く、プラズマを強力に閉じ込めることが出来る。これは、実験的には、ミラー磁場におけるヨッフエバーの導入によってその有効性が確かめられた。この実験を指導したA.V. IoffeはKapitza, Landau, Kurchatov等のソ連の次世代の物理学者を育て、ソビエト物理学の父と言われた。ポロイダル磁場とトロイダル磁場とをミックスさせて、極小磁場を得る最も原理的な方法は、1958年Lehnartによりスフェレーター装置の提案ということで達成された [11]。スフェレーター装置（図5左にスフェレーターの模式図と動径方向の磁場強度分布を示す）は、1本の内部リングコイルと、中心導体棒それに外部球状補助コイルとで構成される。前者二つに電流を流すと、後者には逆電流が生じて、これらの電流による磁場は閉磁気面、極小磁場のいずれをも実現できる。この流れは、中心導体棒がトロイダルコイルになり、内部リングコイルが電磁誘導の原理の導入となって、現在のトカマクにつながっている。ところで、閉磁気面、極小磁場のいずれをも有する磁場配位を得る方法は、1962年Skorniyakovによってより一般的に研究され [12]、その後、1970年PeregoodとSemenovもこの問題を追及し、この磁場配位は超伝導を用いなくとも、実現できることを示した [13]。図5右上に示すように、トルネード状に巻いた2つのコイルに電流を流して出来る磁場は、外側ヘリックスと内側ヘリックスには互いに逆の電流が流れ、磁場は球状のセパトロックスを持つ。動径方向にも外側程強い極小磁場になっている。つまり、ヨッフエバーによる磁場を3次元的に実現したものになっている。トルネードは、スフェレーターにおいて作る磁場配位を外部コイル電流で実現したものとも考えることが出来る。作られる磁場は電磁誘導によるものではないので、プラズマは安定で、トルネードプラズマの輸送は完全古典拡散であることが確認されている。最近トカマクで得られている負磁気シア放電は輸送は新古典論に近いとされているが、この時のポロイダル磁場は極小磁場に近いものになっている。

4. おわりに

以上、旧ソ連を中心としたプラズマ核融合研究の歴史を見て来たが、トカマクによる磁場閉じ込めの方法は、順調に進展して、ITERの建設まで続いているが、問題点も多く装置の合理化、縮小化を旨とした幾つかの方法も、模索されていることを紹介した。核融合は水爆によって実現されてしまったが、多くの核融合学者がこれに関与していた。旧ソ連の物理学者の底は深く、Ioffe, Kapitza, Landau等のプラズマ物理学、核融合研究への寄与は大きい。

参 考 文 献

- [1] 地上と星とエネルギー, 海鳴社, 絶版.
- [2] F. Winterberg, *The Physical Principle of Thermonuclear Explosive Devices*, 1981.
- [3] R. Rhodes, "Dark sun -The making of the hydrogen-bomb" 1995 (邦訳 紀伊国屋書店, 「原爆から水爆へ—東西冷戦の知られざる内幕」2001年).
- [4] P.L. Kapitza, *Rev. Modern Phys.* Vol. 51, No. 3, p.417–p.423 (1979).
- [5] 佐々木力外「物理学者ランダウ」みすず書房, 2005年.
- [6] P.L. Kapitza, *Proc. 10th EPS conf. Mosow*, invited talk.
- [7] 内田岱二郎, *自然*, 1973年10月号, p.64.
- [8] 若谷誠宏外, *日本物理学会誌*, 54 (1999) 417.
- [9] J. Wesson, *Tokamaks*, 2003 (邦訳 九州大学出版会, 「トカマク概論」2003年).
- [10] Y. Kawarasaki, *AIP Conf. Proc.* 369, Part two, p.1244 1996.
- [11] B. Lehnart, *J. Nucl. Energy*, part C1 (1959) 40.
- [12] G. V. Skorniyakov, *Sov. Phys.-tech Phys.* 7 (1962) 187.
- [13] B. P. Peregood and A.A. Semenov, *Sov. Phys.-Tech Phys* 16 (1972) 147.