コンファレンスレポート 1

I A E A (国際原子力機関) 主催 慣性閉じ込め核融合 (I C F) の進歩 に関する技術委員会報告

山 中 千 代 衛*

Reports on IAEA Technical Committee Meeting on Progress in Inertial Confinement Fusion.

Chiyo YAMANAKA*

I A E A の I C F 技術委員会が1978年2月1～6日サンフランシスコで開催された。この会合は核融合の研究において磁場閉じ込めのアプローチと対置される慣性閉じ込め方式の重要性を国際的に確認し、各国の研究態勢と成果を交流するために開催されたものである。すでに過去3回(トリエステ 1973年, 1975年, ドブナ 1976年)の歴史を持っている。

今回の会合はすぐあとに I C F の Topical Meeting が C L E O S (レーザー工学と光学システム会議)と併置してサンディエゴにおいて開催された。この内容に関しては別に報告する。

I C F 技術委員会は I A E A 例会の常として各国の代表で組織され、参加者は米国は開催地のためオブザーバーを含め66名、日本8名、ソ連3名、仏4名、独3名、英2名、カナダ2名、イタリア1名、スイス1名、オーストラリア1名、ベルギー1名であった。

この Technical Committee Meeting は各国の研究計画と現状、国際協力、研究の特徴などに主眼がおかれ、国別に報告が行われ、熱心な論議が続けられた。会場は Sir Francis Drake Hotel というサンフランシスコの由緒ある建物で、3名のソ連人のためにロシア語の

同時通訳が I A E A により準備された。

参考のため委員会のプログラムを掲載しておく。

IAEA TECHNICAL COMMITTEE MEETING ON PROGRESS IN INERTIAL CONFINEMENT FUSION

San Francisco, California, USA, 1—6 February 1978

Preliminary Programme

Wednesday A.M.

February 1, 7:30—12:00 noon

7:30 Registration

9:00 Opening Ceremony: Dr. J. A. Phillips,
IAEA Scientific Secretary
Dr. C. M. Stickley,
DOE

9:30 Coffee Break

9:45 SESSION I—Chairman: A. J. Alcock

Programme of Federal Republic of Germany

S. Witkowski 90 minutes

E. Bock

I. Hofmann

Programme of United Kingdom

N. Peacock 60 minutes

I. J. Spalding

* 大阪大学レーザー核融合研究センター (〒565 吹田市山田上)

* Institute of Laser Engineering, Osaka University (Yamadakami, Suita, Osaka 565)

Wednesday P.M.

2:00—5:00

2:00 SESSION II—Chairmen: N. G. Kovalskij/
J. R. Airey

Programme of Japan

C. Yamanaka 60 minutes
Progress of Inertial Confinement
Fusion ResearchK. Niu 20 minutes
Theoretical and Computational
Research of Implosion

3:30 Coffee Break

3:45 S. Nakai 20 minutes
Experimental Research of
REB FusionY. Kato 30 minutes
Advances in Glass Laser
GEKKO SystemS. Nakai 20 minutes
Advances in CO₂ Laser
LEKKO System

Supplements and Comments 15 minutes

Thursday A.M.

February 2, 9:00—12:00 noon

SESSION III—Chairmen: C. M. Sticley/
L. I. Rudakov

Programme of the USSR 150 minutes

L. I. Rudakov

S. D. Fanchenko

N. G. Kovalskij

11:00 Coffee Break

Programme of the USA

C. M. Stickle 40 minutes
Overview of the United States
ICF Programme

Thursday P.M.

2:00—5:00

2:00 SESSION IV—Chairmen: C. Yamanaka/
S. Witkowski

Programme of the USA (Continued)

P. E. Coyle 40 minutes
Foundations in Laser Fusion

R. B. Perkins 40 minutes

Recent Progress in ICF Research
at the Los Alamos Scientific
LaboratoryG. Yonas 20 minutes
Particle Beam Fusion Research
at Sandia

3:30 Coffee Break

3:45 J. B. Gerardo 10 minutes
Status of HF and Iodine Lasers
as Laser Fusion DriversR. R. Johnson 20 minutes
Laser Implosion Experiments
at KMSFM. J. Lubin 20 minutes
Laser Programme at the
University of Rochester's
Laboratory for Laser EnergeticsS. E. Bodner 20 minutes
Inertial Confinement Fusion at
the Naval Research Laboratory

Friday A.M.

February 3, 9:00—12:00 noon

9:00 a.m. SESSION V—Chairmen: S. Nakai/
N. Peacock

Programme of France

M. R. Fabre 40 minutes
Effort of CNRS French National
Center for Scientific Research
on Laser ICF

F. L. Delobbeau 40 minutes

J. P. Watteau

J. P. Babuel-Peyrissac

10:30 Coffee Break

10:45 Programme of Canada

A. J. Alcock 30 minutes
T. Johnston
Status of Canadian Research
Related to Inertial Confinement
Fusion

Programme of Switzerland

P. D. Morgan 20 minutes

Programme of Belgium

R. Balescu	20 minutes
Programme of Australia	
H. Hora	20 minutes
Programme of Italy	
C. Pellegrini	10 minutes
Outline of Italian Programme in ICF	

Friday P.M.

2:00—5:00

2:00	SESSION VI—Chairman: J. A. Phillips	
	Discussion on International Aspects of ICF Research	60 minutes
3:30	Coffee Break	
3:45	SESSION VII—Chairman: E. Fabre	
	Summary Talks	
	K. S. Brueckner	30 minutes
	Laser Theory and Experiments	
	C. Yamanaka	30 minutes
	Laser Driver Technology	
	L. I. Rudakov	30 minutes
	Particle Beams-Theory and Experiments	

Saturday

February 4 Informal Discussions

Monday

February 6, 8:00 a.m.—6:00 p.m.

Visit to Lawrence Livermore Radiation
Laboratory (The IAEA Technical
Committee Meeting will close following
the visit to Lawrence Livermore
Laboratory.)

会議の内容を整理するとICFに関して
(1)エネルギードライバー (2)ペレット設計とその
製作技術 (3)爆縮実験とその計測法 (4)慣性
核融合炉の概念設計の科学技術的問題点がとり
上げられ、これらの進展の上に慣性核融合の科
学的実証実験が年次計画として提案された。

さてICFの評価については次の指標が与え
られる。

$$\eta \times Q \geq 10 \quad \text{純核融合炉}$$

$$= 1.8 \quad \text{核融合・分裂複合炉}$$

ここに η はエネルギードライバーの効率、 Q は
燃料利得である。ペレット利得を Q_P 、結合効率
を Q_c とすると $Q = Q_P \times Q_c$ である。 η の向上に
関してはエネルギードライバーの開発が課題で
ある。また Q_P についてはペレットの設計が鍵
となる。 Q_c に関してはエネルギードライバー
の性質が重要であってレーザーのみならず、
REBや重イオンビームなども考えられる。

われわれはICFの目標として純粹核融合炉
を目ざしていると言明したが、ソ連あたりでは
まず複合炉の開発を目標にしている。米国はそ
の中間的撰択をとりいろいろの意見に分かれて
いる。

今回のハイライトは高利得ペレットの設計で
ある。これはレーザーの出力が最近顕著に増大
し、ガラスレーザー「シバ」とか「激光Ⅻ号」
クラスの10KJの実現化について、さらに100
KJ出力の「シバノバ」の建設開始、その次の
1MJレーザー「WOW」の呈案などの進展に
関係する処が大である。第1図に示すようにレ
ーザーの出力が小なる間は(a)のタイプのペレ
ットで核融合検出が主目的であったがレーザーの
向上とともに本格的な爆縮が期待されるようにな
った。(b), (c)は「シバ」とか「シバノバ」級
のレーザーに適した圧縮実験用のペレットであ
る。ペレット内部を加熱せずに圧縮し、最大の
圧縮時に中心近傍でのみ核融合点火温度に達す
よう設計すると利得1000以上が期待される。
(d)のペレットがこれにあたる。このような条件
では η が小でも炉が成立する。ペレットの設計
には精密なシミュレーションコードが必要で、
米国LLLでは有名なLASNEXという流体2次
元コードとZoharという粒子コードが完成し
ている。米国でこのシミュレーションコードを
公開しないのは、わずか直径1mmの燃料ペレ
ットの燃焼反応も、水爆の反応と本質的に同じた
めと考えられる。勿論エネルギー規模とか形状
寸法において両者の間には天地のひらきがある。
一方は平和利用の典型であり、他方は人類を絶
滅に導きかねない恐ろしい存在である。いかな
る場合も科学は諸刃の剣である。ここで誤解の

第1図 高利得ペレット

ないよう付記したいのはレーザー核融合が兵器に用いられる危険性は全くないと断言できることである。軍事用に核融合反応を発生するにはレーザーのような大規模な装置は全く不必要であって、単純なウラン分裂を引金にすれば簡単に目的を達することができる。この件に関してはソ連も全く同意見であった。われわれが苦労して核融合発生にレーザーエネルギードライバーを用いるのは、微小な爆発により安全にエネルギーを発生させたいためである。米国が公開しない以上われわれは独力で爆縮シミュレーションコードの開発とペレット技術の確立につとめねばならない。一方わが国のすぐれた領域はレーザードライバーである。

わが国のレーザー技術、とくにガラスレーザーは世界第一級の性能をもっており、燐酸ガラスレーザーを採用した「激光Ⅳ号」装置はビーム当り 1.4 TW を放射することができて、ほぼ半分の増幅段で「シバ」装置のビームあたり出力 1 TW を上廻る性能を示した。これはシバが旧式の硅酸ガラスを使用しているためである。

会議の総括はまず米国の K. S. Bruckner 氏がレーザー核融合の理論と実験の現状をとりまとめついで筆者がレーザーエネルギードライバーの現状と評価を与え、ソ連の L. I. Rudakov が電子ビーム核融合のまとめを行った。

以上を総括すると米国はその規模と構想においてきわめて豊富な研究体制を展開しており、レーザー、REB、重イオンビームに関し均勢のとれた組織をかためつつある。わが国はレーザー核融合研究の初期においてレーザーとプラズマとの相互作用に関し断然他をリードする業績を上げたが、その後強力なレーザーの建設に関し若干おくれをとっていた。しかし再び今日の段階では有力なガラスレーザー、CO₂ レーザーを備え、第一級の研究レベルにあることが国際的に認められた。ソ連は大型ガラスレーザーの建設に努力中であるが未だその結果は未完である。むしろ「Angara」を中心にする大型 REB の計画が強力に進行中である。しかし現実には 1983 年のモスコーオリンピックが終了しないと大型装置は建設にかかれないうである。

最近英国が **Ruherford** 研究所と **AWRL** において大規模のレーザー核融合の研究をはじめた。またフランスはガラスレーザーに主力を注ぎ、ドイツは沃素レーザーで研究を推進してい

る。

おわりに会議に報告された各国のレーザーと **REB** 装置の一覧表を示すことにする。

Table I. Glass Lasers.

SYSTEM	77	78	79	80	81	82	83	Objective	Advance
LLL									
Janus (2)		0.4 TW							
Cyclops (1)		1 TW							
Argus (2)		4.6 TW							high power, shaped pulse
Shiva (20)		10 kJ, 30 TW							
Nova-I				100 kJ, 100 TW				SFX BE > BE	operation started
Nova-II						250 kJ			fluoro-phosphate system
Rochester									
DELTA (4)		0.3 TW							
BETA (1)		0.6 TW							
ZETA (6)			3~4 TW						phosphate system being constructed
OMEGA (24)				12~16 TW		30 TW		SFX	uniform illumination face-pumped disk amp.
KMS (2)		0.6 TW							green light amp.
NRL									
PHAROS II (2)		0.7 TW	1 kJ/ns						up grade expected
Levedev									
Mishen 1 (2)		0.1 kJ/ns							
Mishen 2 (4)		< 1 kJ/ns							
UMI 35 (32)				10 kJ				SFX	Slab amp. long pulse
Mishen 3						30 kJ		BE	
Kalmar (9)		< 1 kJ/ns							

SYSTEM		77 78 79 80 81 82 83	Objective	Advances
Delphin	(256)		BE	multibeam module construction, longp.
Osaka				
Gekko II	(2)		SFX	phosphate, operation started
Gekko IV	(4)
Gekko XII	(12)
Limeil			SFX	rod amp. t disk
N 101	(1)
P 102	(2)
OCTAL	(8)
Ecole polytechnique	(1)
U. Bern	(1)
Rutherford				
	(2)
	(6)
Culham	(1)
Max-Planck	(1)
Australia (Canberra)	(1→4)
Frascati	(2)
				Experiments started

CO₂ Lasers

SYSTEM	77 78 79 80 81 82 83	Objective	Advanced
LASL	<p>SBS 250J nsec 1 beam</p> <p>TBS 2KJ nsec 2 beam</p> <p>EBS 10KJ nsec 8 beam</p> <p>Antares 100KJ nsec Coaxial</p>	<p>Tech. Devel.</p> <p>Dem. of Compression</p> <p>SFX</p> <p>BE</p>	<p>Gas Isolator</p> <p>Multi-Pass extraction</p> <p>Coaxial Amp Module</p>
ILE Osaka	<p>Lekko I 200J nsec 1 beam</p> <p>Lekko II 1KJ nsec 2 beam</p> <p>Lekko X 10KJ nsec 10 beam</p> <p>2nd 5 year Project</p>	<p>Interaction</p> <p>Dem. of Compression</p> <p>SFX</p>	<p>Solid Isolator</p> <p>New Mixture</p>
USSR	<p>10KJ 1~5 nsec 6 beam</p>		
Canada (NRC)	<p>60J/beam nsec 2 beam</p> <p>120J/beam nsec 2 beam</p>	Interaction	
France	<p>10J nsec 1 beam</p> <p>40J nsec 1 beam</p>	Interaction	

Table II. DEVELOPMENT OF REB SYSTEM

INSTITUTE	MACHINE	OUTPUT	YEAR
USA			
SANDIA	HYDRA	2BEAM, 100ns 10KJ	1972
	PROTO I	2BEAM, 25ns 50KJ	1976
	PROTO II	2BEAM, 100KJ	1979
	EBFA I	500KJ	1979
	EBFA II	>1MJ	1982
USSR			
KURCHATOV	URAL	5KJ	1972
	TRITON	5KJ	1972
	KALMAR I	30KJ	1976
	ANGARA I	10KJ	1975
	ANGARA V	48BEAM, 5MJ (2MV IMA 120KJ×48)	1980
JAPAN			
OSAKA ILE	REIDEN I	300KV 60ns 40KA 1KJ	1972
	REIDEN II	300KV 100ns 30KA 1KJ	1973
	REIDEN III	500KV 80ns 100KA 4KJ	1974
	REIDEN IV	1.7MV 30ns 1.7MA 100KJ	1978