

分置

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。 2001. 7. 31
[技術情報室]

海外出張報告書

- 1. JUPITER打合せ
- 2. INFCE5/D ad hoc meeting

昭和53年 9 月

この資料は動燃事業団の開発業務を進めるための研究成果に関する資料の一部

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

海外出張報告書

要 旨

53年8月に契約が成立した日米共同大型高速炉用炉物理実験（以後 JUPITER と呼ぶ）に関する具体的な実施方法について，DOE本部，ANL-East および ANL-West を訪問して打合せを行った。実験の現状，データ授受の方法，会合の持ち方などを議論し，今後の進め方を明らかにした。

また，INFCE 5/D（FBR代替サイクル）のデータ調整に関する ad hoc group meeting に参加し，米国，西独，日本が提出した FBR 代替燃料サイクルに関する設計データの調整作業を行った。

昭和53年9月

高速増殖炉開発本部

井 上 晃 次

日 程

月 日	目 的	場 所
9月 9日(土)		(成田出発)
}		
9月11日(月)	JUPITER(日米共同実験)打合せ	DOE-Headquarter
}		
9月13日(水)	同 上	ANL-East(Chicago)
9月14日(木)	} INFCE 5/D技術会議	同 上
9月15日(金)		
}		
9月18日(月)	JUPITER(日米共同実験)打合せ	ANL-West(Idaho Falls)
}		
9月20日(水)		(成田着)

目 次

	頁
1. JUPITER (日米共同大型高速炉用炉物理実験) 打合せ	1
1.1 DOE - Headquarter 訪問	1
1.2 ANL - Chicago 訪問	5
1.3 ANL - Idaho 訪問	10
2. INFCE 5/D technical meeting	14

1. JUPITER (日米共同大型高速炉用炉物理実験) 打合せ

実験の現状，米国内での仕事の流れ，日本へのデータ伝達方法，会合の持ち方などについて議論をした。今回のベンチマーク実験がプロジェクトに直結したものでなく，大型FBRの炉物理問題を解決することに主眼が置かれているため，日本からの積極的な要望が期待されている。

1.1 DOE - Headquarter 訪問

1) 日 時：9月11日(月) 11:00 am ~ 16:00 pm

2) 場 所：DOE - Headquarter

3) 面会者：

(アメリカ側) P. B. Hemmig : Chief of Physics, RRT

John W. Lewellen, Virgil W. Lowery III

(日本側) 井上晃次，

藤田昭吾 (在ワシントン，日本大使館滞在)

4) 内 容：

- ① 井上より Benchmark 実験を日米共同で行うことができるようになったことについて感謝の意を述べると共に，白方・池上の両氏が Idaho で温い歓迎を受けていることに対し謝辞を述べた。更に契約成立に至る迄の簡単な経緯と今回の訪問目的を述べた。
- ② これに対し，Hemmig 氏より，米国における FBR review の影響で本計画の実施が遅れたことに対するお詫びと，今回の Benchmark 実験が当初の目標通りとなっているとの説明があった。
- ③ Phase I の Broad schedule について次のような説明があった。
 - a. 4,600 ㍔の initial core は今年5月から装荷を開始し，実験に入った。多分10月末迄続くであろう。
 - b. initial core の主要目的は large sized LMFBR の炉物理解析を容易にできる形状として選択された。従って650 MWe 又は900 MWe などの実際の炉の設計とは現在のところ直接は関係がない。
 - c. 2番目の core は11月頃から開始される予定であるが，まだ決定していない。多分今月中に決めるであろう。

最大 Puffissile 装荷量を 2500 Kg 以下としている理由は，Puffissile を含む同形状の uniform な plate の所有量からの判断である。uniform な plate だ

けが装荷されれば解析もやり易い。

- d. 終り頃の core には heterogeneous core を実験することになるだろう。これも実際の炉の設計とは直接関係はなく physics の面から計算方法などを確認するために行うものである。
- e. "Memorandum of Understanding" にも書かれている通り、以上のような Benchmark 実験の実施が約 1 年、多分 1 年以上になるかも知れないが、続いて解析が約 2 年ということで今回の契約を 3 年とした。
- ④ initial core の計画、解析などはほとんど Idaho で行っている。これは、この 1 年間 Fuel Cycle Evaluation について Chicago の研究者達が多忙であったためである。pre-analysis, post-analysis は Idaho の Linberry のところで行っている。
- ⑤ Benchmark の内容を決める前には DOE 本部の Hemmig 達, ANL の人, 民間の GE, WH, AI など約 10 数名が集まって議論した。この会合の目的は 2 つあって、一つは core configuration の良否, 他の一つは毎日の実験内容の議論である。
- 前者については GE などからの意見もとり入れて多少の modify はしている。後者については ANL 現場における実験計画の詳細なものに属している。このような会合を年に 1 回又は 2 回 DOE 本部で開いているので、この次からは日本から井上が参加できるよう、会議の 1 ヶ月半位前迄に日本に連絡したい。
- ⑥ ANL における Benchmark 実験の責任者は Till 氏だが、直接には LeSage 氏がみている。Idaho の現場では Carpenter が manager となっている。
- ⑦ pre-analysis, post-analysis, experimental data などすべて Technical Memorandum (TM) Report で内部資料として作成されるので、これを日本に 6 部, Idaho 駐在員に 2 部できるだけ早く送付する。report の種類, 送付方法などは ANL で打合せる。
- ⑧ Phase II については、日米双方の今後の高速炉開発計画を見ながら、その内容、時期などについて相談していくこととした。現在 Benchmark 実験が始まったばかりなので余り急ぐ必要もないだろうとのことであった。
- ⑨ Phase II と関連して、日米双方の LMFBR 開発計画について議論した。
- a. 日本の現状については資料 J-1 により、「常陽」、「もんじゅ」について説明した。又、「ふげん」も送電を開始したことをつけ加えた。

- b. 米国の現状については、CRBRが議会で議論されており、結論がまだ出ていないので長期のスケジュール表は決まっていないが、基礎となるR&Dは続けてやっていくとの説明であった。
- ⑩ Cunningham氏が10月1日付でDOEを去るので組織の変更が又あるだろうとの話であった。
- ⑪ Heterogeneous coreをBenchmark実験の最終段階に行うことについて若干議論をした。
- a. 米国では特に民間会社からの要望が強く、安全上Na void効果を小さくおさえる必要があるため(英国で2ドル以下と云っている)、実際の炉の設計とは別のR&Dとして活発な検討を行っている。炉物理上の計算方法を確認することが主な目的である。
- b. 日本でも動燃を中心に、R&DとしてHeterogeneous coreの検討を行っている。又原研でもParfait coreの実験がFCAで行われた。これらは次回のNEACRPで発表の予定である。
- c. 炉物理計算手法上の問題点を見きわめるという意味でHeterogeneous coreの実験情報には、日本も興味をもっている。
- d. 実際の炉の設計上は、熱流力、過渡解析など問題点がないかどうか検討する必要があるし、もともとNa void効果が安全評価上極めてcriticalな問題かどうか多角的に検討しておく必要があるだろう。例えばHCDAでATWSを考えると本当に必要かどうか。この場合、Na void効果と大きく関係してくる。日本では慎重に調べている段階であって設計上heterogeneous coreをとり入れるかどうか決まっていない。
- ⑫ Benchmark実験はそもそも設計に直接結びついた形状が選ばれている訳ではなく、炉物理上の問題点を確めるというのが本来の目的であるので、日本からも実験上の要望など遠慮なく出して欲しい。
- ⑬ Phase IIIのEngineering mock upはfull sizeのcoreが必要かどうか、何を実験すべきであるか、など今後、日米間で技術検討会を持ちながらつめていくこととした。
- ⑭ 上記⑬の内容を検討するに当たって、ZPPRでの実験上の制限、所有燃料の形状、量、組成など詳細な情報をできるだけ早急に入手したいとの要望に対してすぐactionをと

るとのことであった。

- ⑮ 組織について、PNCを中心とする日本の高速炉物理の仕事に関係しているところを説明した。DOE内のRRTでは2年前に聞いた話と余り変わっていない。RRTの本部には75名位で、FFTFなど各プロジェクトには14名位、あとphysics, safety, Fuel & materialなどがある。
- ⑯ 今後、generalな問題についてはHemmig氏を通じて、technicalな詳細な問題についてはTill氏を通じて連絡をとり合うこととした。

1.2 ANL - Chicago 訪問

1) 日 時：9月13日(火) 9:00 am ~ 5:00 pm

2) 場 所：ANL - Chicago

3) 面会者：

(アメリカ側) C.E.Till : Division Director , Applied Physics Division

L.G.Lesage : Associate Division Director, "

M.Lineberry : Section Head of Theory & Analysis, "

Virgil Lowery : DOE本部

F.H.Martens (ZPR-9 , 6見学案内のみ)

(日本側) 井上晃次

4) 内 容：

- ① 井上から今回の訪問の目的について挨拶をし、Till氏から共同実験の agreement が結ばれたことについて喜ばしいとの発言があった。
- ② 白方、池上両氏の personnel assignment の sign はどうなっているかとの質問に対し、ANL側出席者は知らないとのことでANL内にてよく調べてもらうこととした。
- ③ US内でのZPPRに関するmeetingは2種類ある。
 - a. planningに関するmeeting (大体6ヶ月毎)
これはDOE本部で行うかなりgeneralなもの
 - b. detail discussionを行うmeeting (大体3ヶ月毎)
CESC (Critical Experiment Steering Committee) と呼ぶ。これはANLのInternalなものでSupervisorが約10名位集まって、Chicago又はIdahoで1日又は2日位行う。
今回の日米共同実験では、日本から井上がa.に、白方&池上両氏がb.に出席することとしよう。但し、必要があれば白方、池上両氏がa.に出てもよい。
- ④ reportsは次のような種類がある。
 - a. Monthly TM's
 - b. Topical TM's
 - c. Informal Planning Documents

- Programs for Planning Meeting
 - Assembly Document (6ヶ月毎位)
 - Detailed Work Plans (Z P R - I) (月に3~4回位)
- d . Journal Publications of ANL reports (infrequent)

現在 TMs の a . b は D O E 本部および民間会社を含めて 35 部位配布している。従って、この report は Till 氏から井上宛自動的に 6 部ずつ送るようにする。又 2 人の日本人滞在者にも送る。c . については Idaho の現場の方がよいので 2 人の assignees を通して送る。

Idaho を訪問をした際 Assembly 9 について現在ある reports を全部揃えておく。

⑤ Post analysis meeting について

今回の Benchmark 実験に関する post analysis meeting を日米間で何処か適当な場所で行うことを検討することとなった。

⑥ Broad schedule について次の 3 つの資料により Mike 氏より説明があり、若干の議論をした。

資料 U - 1 : Z P P R - 9 Experimental Program

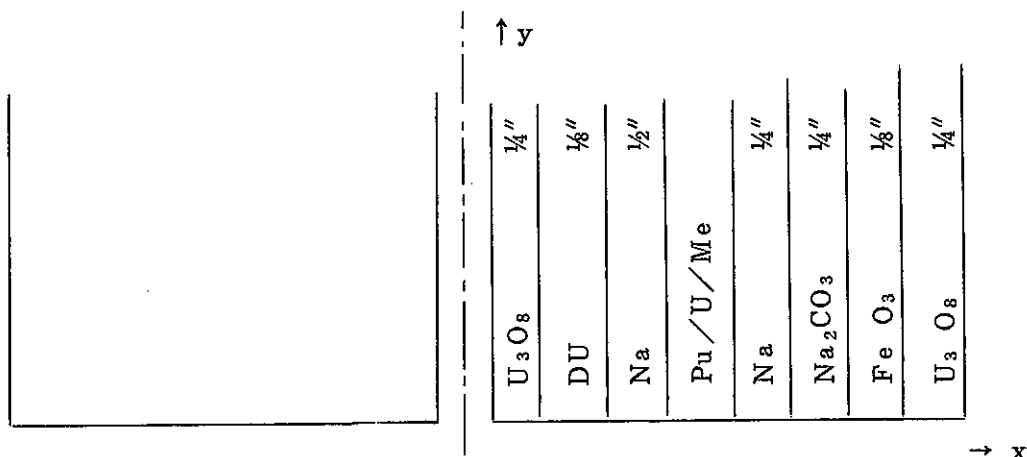
U - 2 : General Work Plan , Z P P R Assembly 10

U - 3 : Z P P R Assembly 10 Program

a . Assembly - 9 の実験 :

- Control Rods と Doppler に関する実験を除いて他のものは完了している。
- 4 or 5 月に開始し、10 月に終了の予定である。
- Pu fissile は約 2 tons
- 2 zones の homogeneous core
- 濃縮度の内外比は 1.4
- peaking factor 1.25
- Heavy metal は 41 v/o であり、これは breeding ratio の optimized survey より決めたピン径 2.9 in (7.36 mm) に対応している。
- 炉心の大きさは 4600 l で約 700 MWe に対応する。
- control rods は部分的に入っている。
- sodium void は 15 steps に分けて行った。

- fission chamber は 64ヶ所入っている。
- これは foil measurement を含めている。
- 炉心組成は NEA CRP 主催の international comparison に合わせてある。
- U235 fission reaction rate traverse の実験値が炉心中央付近で depression している。これは下図のように DU の unsymetric な配置からきたものらしい。



b. Assembly - 10 の実験計画：

- 炉心形状が hexagonal になり，19ヶ所に control rod positions (Na channel) を持つ。
- assembly - 9 計画の終りに，炉心を拡大する。
- sodium voiding 実験の size および volume はまだ open である。
- phase A, B, C よりなる

ZPPR-10A: EOC を模擬，4600ℓ core (~700MWe 級) で control rod position を模擬

ZPPR-10B: BOC を模擬，7CR's を挿入

ZPPR-10C: EOC を模擬，6000ℓ core (~950MWe 級)

- Phase C で ZPPR が現在所有している standard ZPR U-Pu-Mo plates の約 2500Kg fissile を装荷した体系となる。
- 実験期間は 50 日間の contingency of operation を含んで 6ヶ月の予定。
- 日本からの comments を歓迎する。後半に要望に答えることができそうである。
- high enrichment B-10 による実験については，ZPPR 所有量により制限

があるが、F C A 所有のものが一緒に使用できたと仮定した場合、どの程度の parameters がふれるか検討しておくことは興味深い。

○ 次の planning meeting が来年の 2 月末又は 3 月初め頃開られるので、そのときに検討することとした。

c . heterogeneous core の実験

○ U S 内での makers (W H など) から要望が強いが、何を目的に実験するか問題。

○ 是非日本側の意見を聞きたい。planning meeting の前の 1 月頃迄に comments を欲しい。

○ Benchmark 実験としての要望を集めたい。

⑦ Plate data から heterogeneity cal. を行う cell cal. は Z P P R では A D E N という code を使用している。日本内ではどのような計算をしているか必ずしもまだ統一はとれていないが data は J E N D L を base とする。cell cal. を行う上で情報が理解されやすいようにするために、場合によれば日本から専門家を 1 or 2 週間 Idaho に派遣してもよいこととした。但し、plate data 一式は前もって日本側が入手する。

⑧ Assembly - 1 0 の決定は 1 0 月 1 4 日 or 1 5 日頃となる予定なのでこれまでに comments があれば日本から送ることとした。copy を Till 氏と Hemmig 氏宛送る。但し、この場合は general comments でよい。実験内容の詳細な comments は実験が始まってからでよい。

(日本内で早急に検討をする体制をつくる必要がある。但し、Assembly - 1 0 への general comments については時間の関係から原研、民間の主要な数名より早急に comments を集めるよう検討する)

⑨ B - 1 0 , F . P 模擬などについて F C A から物質を追加して実験することの必要性などについて今後検討する。

⑩ 今回の共同実験の名称が、" D O E - P N C Joint Physics Large Core Critical Experiments Program " と長いので、予算説明などの関係上、もっと simplify した名称が欲しいと要望し、日本側から次の 2 つを提案した。

○ Joint - P E P (Joint Physics Experiimt Program)

○ J E L U C (Joint Experiments of Large Core)

ANL側で検討しておくことになった。(Idahoで再度議論する)

⑪ PR用の写真か図か何か入手したいとの要望に対してIdahoにて写真を写すことになった。

⑫ 日本のFBR開発の現状を資料J-1で、又PNC、FBR関係の組織を資料J-2で説明した。

尚、実際の業務は、契約により原研、大学、makersなどに委託して行っている点も説明した。

⑬ ANLのApplied Physics Divisionの組織について資料U-4により説明があった。Associate Division DirectorのStaceyは大学へ移転している。

⑭ 予算についても若干紹介があった。日本PNC内の高速炉物理のR&Dは1~2M\$/y、ANLのApplied Physics Div.は7~8M\$/yでこのうち給料は8%位、大半は施設の運用費である。

⑮ ZPR-6、ZPR-9見学(案内はF.H.MARTENS氏)

○ ZPR-9はSTF(Safety Test Facility)としてFe+U235の体系を組みLMFBRおよびGCFBRのSafety関係の試験中であつた。Rod Drop法などにより、各種の実験を行っている。

○ ZPR-6はGCFBR用として300MWe級から1200MWe級の炉心が組めるよう改造中で1979年2月完了の予定。但し、full mock upを組むことはしない。Doppler effect、He reactivity effectなどsafety上の試験を計画中。

⑯ ANL-Chicagoを去る前にTill部長に下記の情報が日本にavailableかどうか検討して欲しいとお願いした。

a. ZPPR-5 experimental data for LMFBR hypothetical core destructive accident

b. The experimental data for higher Pu isotope effect

その結果、openの資料ではないが、追って2人のassigneesに渡す、と約束してくれた。

1.3 ANL-Idaho 訪問

1) 日 時：9月18日(月) 9:00 am~5:00 pm

2) 場 所：ANL-Idaho

3) 面会者：

(アメリカ側) Paul Amundson : Manager of operation

Leo LeSage : Associate Division Director (ANL -
Chicago)

F.W. Thalgott : Deputy Division Director (途中30分
位のみ)

Stu Carpenter : Section Head of measurements

Harold McFarlane : Group Leader of Evaluation &
Planning

Mike Lineberry : Section Head of Theory & Analysis

= 以下3名は技術討論のみに参加 =

Clarence Beck , Peter Collins , Dick Kaiser

(日本側) 井上晃次, 白方敬章, 池上哲雄

吉田弘幸(原研, INFCE 5/D meeting出席後一緒に参加)

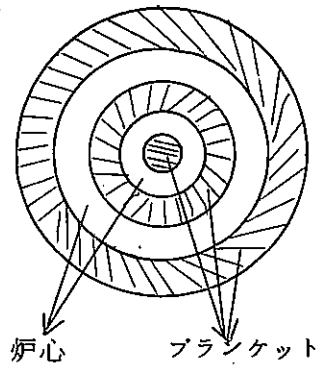
4) 内 容：

- ① 井上から, 今回の agreement 成立の謝辞と, 2名の assignees への温かい hospitality に対して感謝の言葉を述べた。
- ② Mike から Chicago での meeting の主要点について概要説明があった。
- ③ Joint Program についての meeting, Documentation, Personal assignments, ZPPR Capacities など Chicago の結論を確認した。
- ④ 次回の planning meeting は来年2月21日(水)頃を目標とすることとなった。
- ⑤ Joint Program の名称について米国側から次の提案があった。
 - JUPITER (Japanese-United States Program of Integral Tests and Experimental Research)
 - BRACE (Bilateral Research Agreement on Critical Experiments)その後の meeting で話し合った結果, JUPITER と呼ぶことに決定した。
- ⑥ 技術討論(資料U-1, -2, -3により, Chicago よりも, もっと詳細な説明が

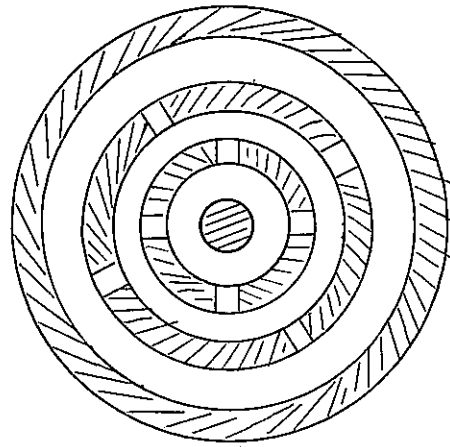
あり、討論を行った)

- a . Assembly - 9 について Stu 氏より概要説明
- 5つの項目, sodium void, small samples, kinetics experiments, special experiments, reaction rate distribution を終了。
残る2つの項目, control rod, Doppler は10月末迄に実験完了の予定である。
 - Peter 氏より control rod exp. について説明があった。
single rod は9 (3×3) drawers を使う。center rod の予測値は約\$ 2.6, 1 rod ~ 2 rods を半径方向に順次移動させて測定する。
 - Doppler の実験は central measurements で最高1100℃迄の予定
- b . Assembly - 10 について概要説明
- 炉心組成は assembly - 9 と同じ
 - reference core は INFCE に提出したもの又は NEACRP の International Comparison に使用したものである。
 - Heavy metal 燃料体積比 41 %
構造材 22 %
ナトリウム 37 %
の組成であり、これは breeding performance を optimum にするものだ。
 - 炉心高さは Assembly - 9 に同じ
 - 制御棒チャンネルは19本である
 - 41%の燃料組成比について若干の議論をした。INFCEでも議論した通り若干 advance したもののようと思われる。
初期実証炉の炉心組成による Spectre との違いはどうであろうか。特に安全上重要な Doppler, Void などの効果に及ぼす影響はどの程度あるのだろうか、など議論したが、定量的にはつめられなかった。
 - 本体系での実験として制御棒効果に相当の重みが置かれているので B - 10 濃縮度効果についてもどの程度のものが可能か議論した。MOZART のときに使用した enriched boron (FCA 所有) を合わせて使用すると更に価値あるものが実験できるかどうかについても今後検討することになった。
- c . heterogeneous core について Mike 氏より説明があった。

○現在ANLで検討中のものと，makersが提案しているものと相当かけ離れている。下図の通り。



(ANL案)



(WH, GE, AI, CE案)

○日本側の意見を求められたが，heterogeneous concepts は世界に多数のものがあリ，設計としても本気で採用するかどうか未定なので，もし実験するとしても，余り複雑なものでなく単純な形状のものの方がよいと思う，と述べた。しかし，詳細な comments は日本で検討の後，来年1月末迄にANLへ送ることにした。

⑦ ZPPRの実験上の capability および各種報告書について，多数の情報を入手した。

- a . Physics Studies of a Heterogeneous LMFBR
- b . Control Rod Interactions in ZPPR-7G
- c . Enriched Boron Inventory
- d . ZPPR Assembly 9 Configuration
- e . CRs using Enriched Boron (ZPPR-3)
- f . Figure Titles for "Physics Studies of a Heterogeneous LMFBR" by M.J.Lineberry, et al.
- g . Control Rod Worths in ZPPR-7G
- h . Description of Reactivity Samples Available for Use in ZPPR
- i . ZPPR PSR (Poison Safety Rod) Locations & Oscillator

Positions

j .	CR' s using Enriched Boron (ZPPR - 6)	
k .	ZPPR Material Compositions	
l .	Master Inventory	
m .	Review of FBR Physics	
n .	ZPR Internal Memorandum ZPR-1 Memo No	301
o .	" "	302
p .	" "	305
q .	" "	306
r .	" "	307
s .	" "	308
t .	" "	309
u .	" "	310
v .	" "	311
w .	" "	312
x .	ZPR Technical Memorandum ZPR - TM - 3	20
y .	" "	323

(以上の資料は別途保管)

⑧ EBR - II 見学

(案内した人) EBR - II 炉心関係の人

(見学した者) 井上晃次, 白方敬章, 池上哲雄, 吉田弘幸

(見学場所) タービン室, 炉室, 制御室

- full power で運転中であった。
- carbide 燃料の照射はすでに20数体行っている。
- 余り大きなトラブルはない。
- 4名の「常陽」からの trainees の部屋を訪問, 面談した。

2. INFCE 5/D technical meeting

高速炉代替燃料サイクルを使用した炉心特性について米，西独，日の3ヶ国間のデータを調整するための会議が開られた。2日間の議論により代表的なデータ・セットの選択を行った。2～3の補足的な評価も追って行われることになった。

1) 日 時：9月14日(木)～9月15日(金)

2) 場 所：ANL-Chicago

3) 出席者：(西独) Gunter Kessler (KfK)

Hans Bogensberger (KfK)

Udo Wehmann (Interatom)

(日本) 井上晃次 (PNC)

吉田弘幸 (JAERI)

(米国) C.E. Till (ANL)

Virgil Lowery (DOE)

Mike Lineberry (ANL)

Leo LeSage (ANL)

Herb Henryson (ANL)

Yoon Chang (ANL)

4) 配布資料

(i) "Nuclear Studies on Alternate Fuel Cycles for Fast Breeder Reactors" (西独)

(ii) "An Investigation of Nuclear Physics Characteristics for Fast Breeder Reactors with Various Fuel Cycles," (日本)

(iii) "A Study of Sodium-Cooled Fast Breeder Reactors with Thorium Blankets for Supply of U-233 to HTGRs," (日本)

(iv) "Integral Testing for Thorium Cycle Nuclear Data," (スイス)

(v) "Alternate Fuel Cycles for Fast Breeder Reactors," (米国)

5) 討議内容

① 上記(i), (ii)および(v)のpapers について, 参考Pu-U系と種々の代替系に関する設計上の仮定と炉心性能について議論した。

核データについては, 米国と西独がENDE/B-IV (但しTh 232のcaptureは最近

ANLで評価されたもの)を日本がENDF/B-IIIを使っている。

米国のPu-U酸化物LMFBRは燃焼度(平均5.2MWD/Kg)と原子炉出入口温度(499℃/343℃)が若干conservativeである。参考迄に西独の原子炉出入口温度は540℃/390℃である。

また、米国の炭化物、金属の燃焼度が5.3~5.4MWD/Kgとなっており、この条件が酸化物よりよくなっているのでoptimisticではないかとの議論をしたが、米国側はEBR-IIでの十分な経験があるので問題はない筈とのことで、西独、日本共経験がないため強く反論は出来なかった。

西独と日本は酸化物の代替サイクルのみ提出したが、米国は酸化物、炭化物、金属のすべてをサーベイしたものを提出した。

日本のLMFBRおよびGCFR設計はGBRAの設計をベースとしており、3領域炉心を採用してpeaking factorを改良したものを使っているため、他の2ヶ国との直接比較は難しい。

- ② 西独と米国の参考Pu-U系LMFBRの設計が対比検討され余りにも違いすぎるのではないかとの議論が行われた。日本側より以下の比較計算を示して妥当である点を強調し、参加者の同意をえた。

	米 国 デ ー タ	西 独 デ ー タ
炉心熱出力 (MWt)	2 5 0 0 (2 7 4 0 から 1 0 % 引 き)	3 1 2 0 (3 4 2 0 から 1 0 % 引 き)
最高線出力 (W/cm)	4 5 9	4 2 0
炉 心 高 さ (cm)	1 0 1.6	9 5
炉 心 集 合 体 数	3 1 8	4 9 8
集合体当りのピン数	2 7 1	2 7 1

以上の設計データをもとに出力ピーキング係数(但し過出因子又は安全余裕を含む)を求めると米国が1.60となり、西独が1.74となって、その差は約10%である。したがって西独が10%程度の過出力又は安全余裕を見込んでいると仮定すると両者の設計データはconsistentである。

- ③ 指摘された主要点は以下のようなものである。

- a . breeding ratio の評価で , 米国は Pu 241 の炉内での decay を考慮に入れている。
 - b . 西独の設計は②で述べた通り , より conservative である。
 - c . 燃焼計算を行う場合 , breeding 特性や inventory に影響を与える手法の差異が認められる。例えば西独は制御棒チャンネルに absorber を挿入した状態で評価している。制御棒の本数が米国は 19 本であり , 西独は 55 本である。
 - d . Th 232 の capture cross section については , 米国と西独は最近の Smith-Poenitz の評価データを採用しており , 日本は ENDF/B-III を採用している。最近のデータは III よりも約 15% 下がっている。
- ④ 設計の仮定および性能パラメータを比較する表を用意し , 議論を行った。smear densities , fuel volume fractions , plutonium isotopic content , Pu 241 decay , linear heat ratings など若干の差異があるが , breeding 特性および fissile loadings では homogeneous cores については比較的よく一致していることがわかり , 米国データが中間にきているものが多い。
- ⑤ 西独 , 米国 , 日本の 3 ヶ国は 5 D の data base として米国の設計計算を採用することを決定した。米国は , breeding 特性および inventory 計算において燃焼期間中の absorber の存在による影響および , 制御棒本数を追加することによる core dilution の影響を評価することに同意した。homogeneous core から heterogeneous へ移行した場合 , inventory の増加分が , 米国は 30% , 西独は 10% と大きく違っている。この点を再評価するため , 米国の homo- および hetero- の設計データを西独に送り , 西独が再評価を行うことで同意した。
- ⑥ subgroup D での reference system としての advanced oxide design の採用は subgroup A で採用されるものと矛盾のないようにする必要がある点を日本側から指摘した。sub-D で議論した advanced oxide 系は多分 1995 年頃以降のものとして採用することを決定した。これは , FBR の代替サイクルがそれ以前には採用されなであろうという観点からも consistent であり , その頃の reference と alternative の系は consistent basis で評価されるべきであるからである。
- ⑦ GCFR については LMFBR と同じ basis で取扱うことが決められた。米国と日本の GCFR 性能の差異は設計上の仮定および breeding の定義などを考慮に入れるとかなり良く一致するものとみられる。米国は米国が使った GCFR の data と他の機関の data

との間の差異について検討することとなった。

- ⑧ 安全性のパラメータについても米国の計算値を代表例として採用した。
- ⑨ Th data の integral test に関するスイスの論文については各国共詳細に評価することにした。論文で述べられている Th capture cross section 1% 変化に対して breeding ratio が 0.8% 変化するという感度解析については、米国と西独で計算された値より高すぎる点が指摘された。
- ⑩ 米国が提出した論文の後半は system studies に関するもので、OECD の原子力発電需要およびウラン供給の予測にもとづいている。西独は採用された data base を用いて、system studies に関する cross check を行うことに同意した。
- ⑪ fuel cycle loss と cycle time に関する米国の仮定は reference および alternative の両系とも

plutonium loss during reprocessing : 1%

plutonium loss during refabrication : 1%

external cycle time : 2 y

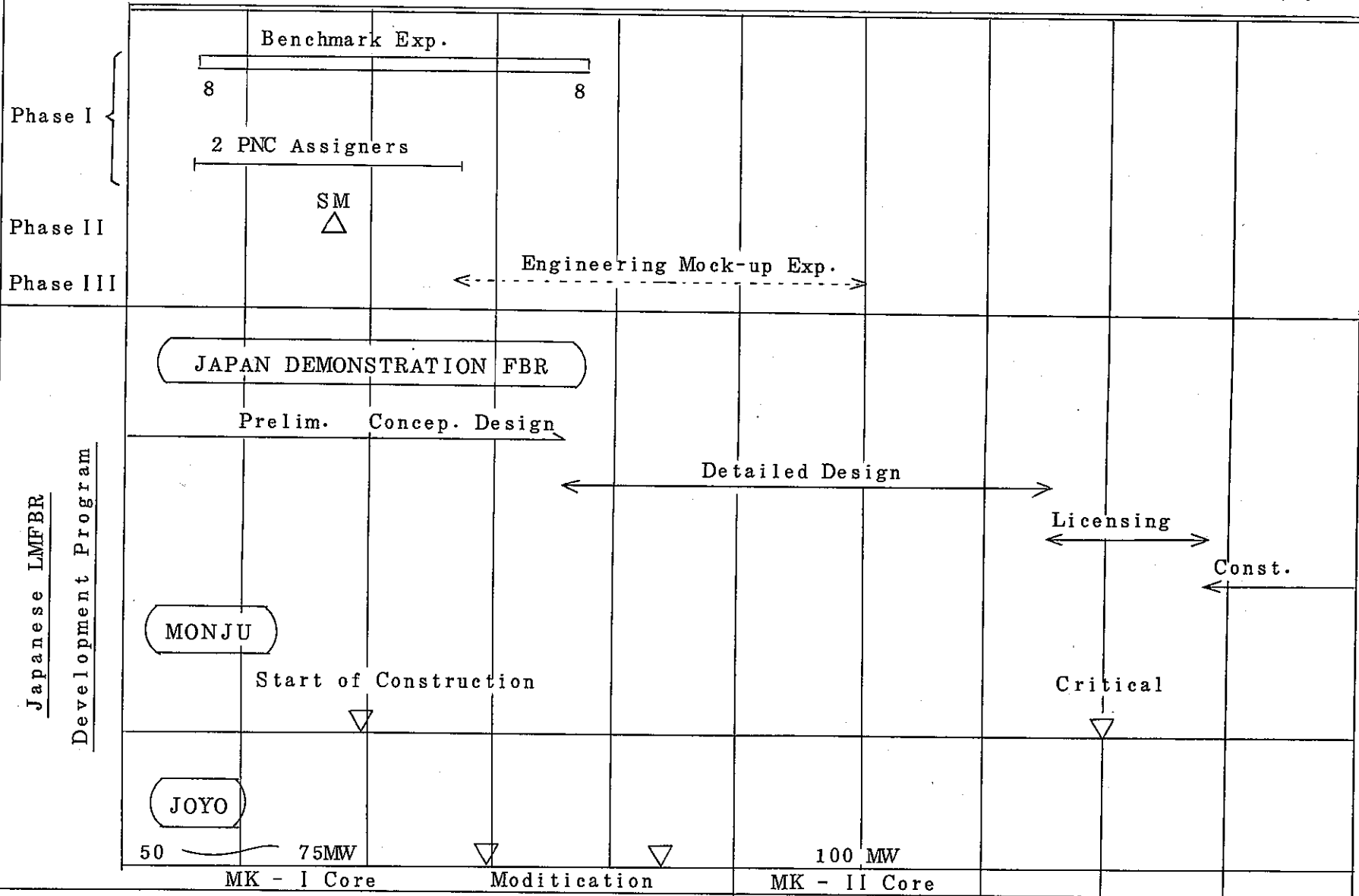
としており、本件は次回の子group D 会合で議論し再評価することとした。

- ⑫ 次回の子group D の議題は次の通りとする。
 - a . data 調整
 - b . system studies
 - c . technical feasibility

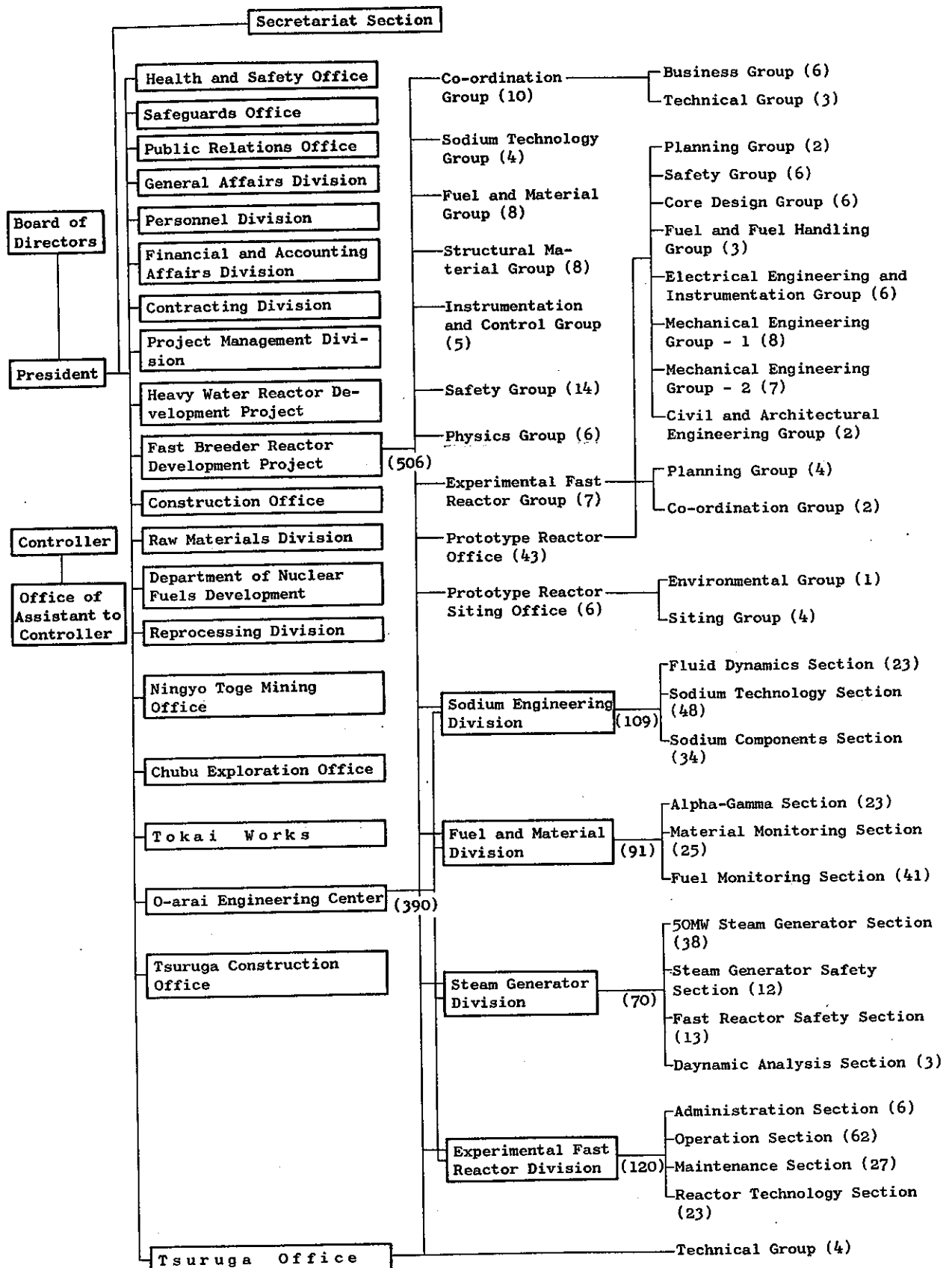
DOE - PNC Joint physics Large Core Critical Experiments Program

August, 1978

1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987



ORGANIZATION OF PNC



The principal objective of the ZPPR-9 program is to provide clean benchmark data for a homogeneous, two-zone LMFBR with a volume of 4600 liters (nominal 700 MWe). Experiments shall be done in sufficient detail to ensure confidence in C/E ratios for a wide range of physics parameters. In addition, the experiments shall provide a firm basis for future EMC measurements as well as for future measurements in heterogeneous cores of this size.

The following summary establishes the framework of the measurements.

1. Control Rods

- . Worth of single rods as a function of radial position
- . Rod interaction effects
- . Worth of rod groups in likely ring positions
- . Alternate control materials
- . Rod diameter and composition effects

2. Sodium Void

- . Central zone measurements
- . Detailed axial measurements to separate leakage and non-leakage components
- . Radial map with single drawer
- . Outer core zones, x and y

3. Doppler

- . Central measurement

4. Small Samples

- . All fissile and fertile materials available
- . Structural materials
- . Control materials
- . Radial and axial measurements
- . Fission source

5. Kinetics Experiments

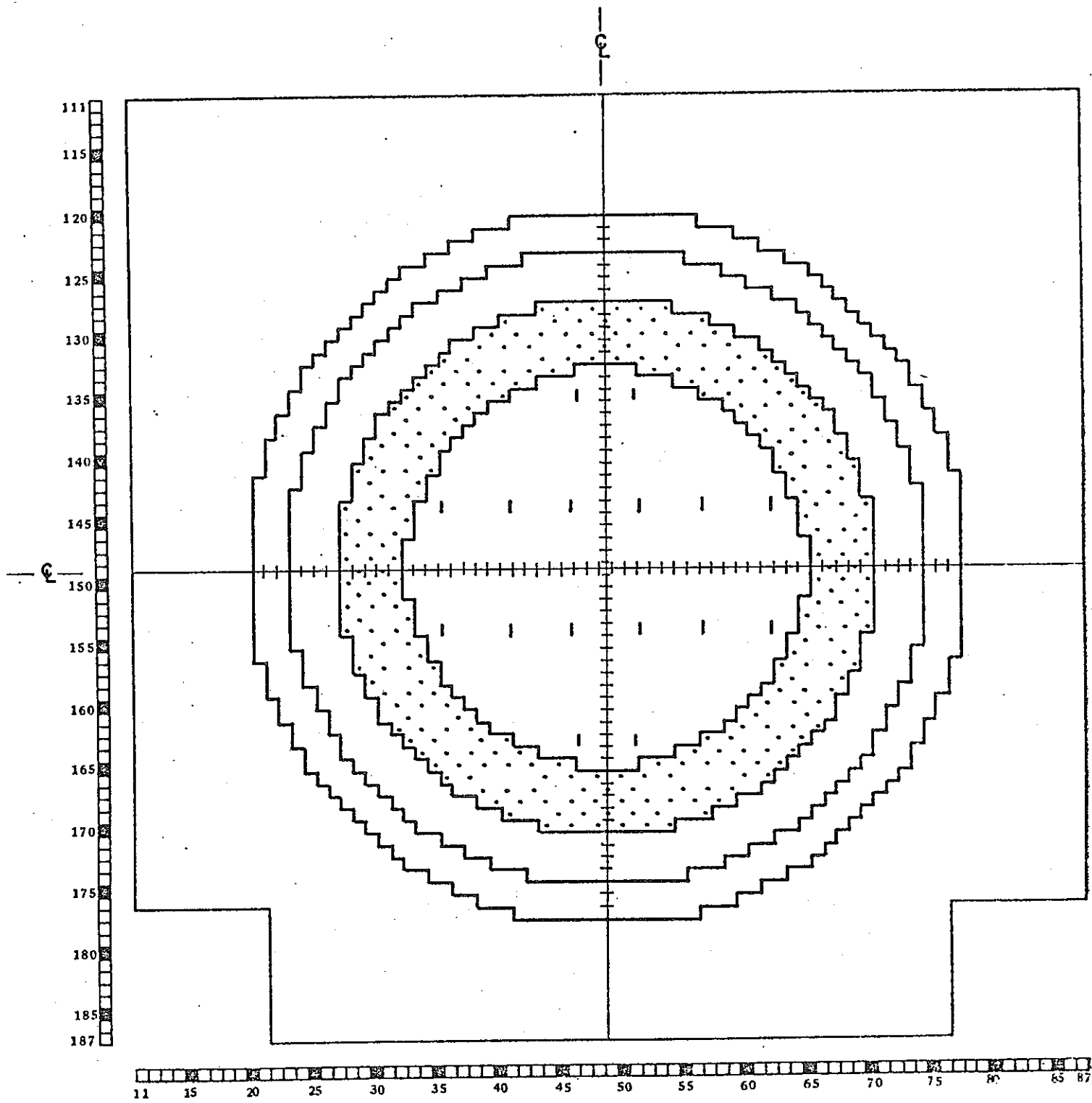
- . Test point kinetics model
- . Reference for future experiments in heterogeneous core
- . β_{eff} , β/λ , a_i sets, transfer function
- . Static measurements, involving power and reactivity distributions with an inserted, off-center control rod

6. Special Experiments

- . γ -heating
- . Ex-core detector (concurrent with other measurements)

7. Reaction Rate Distribution

- . x-y radial map
- . Several axial traverses
- . Counters for fission rates in higher isotopes



ZPPR HALF 1

| Operational Poison
Double Column Fuel
Drawers

Fig. 1: ZPPR-9 Reference Configuration

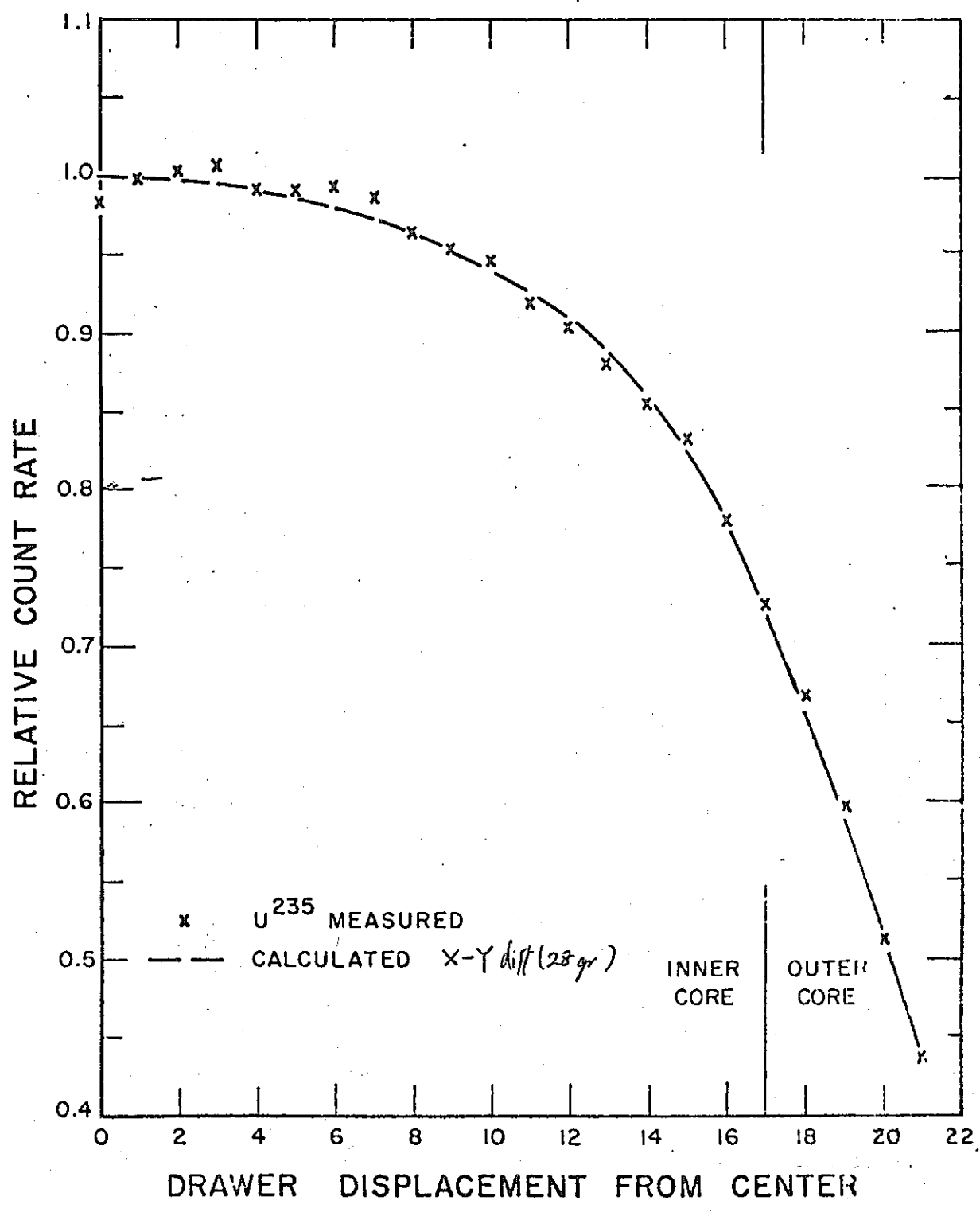


Fig. 2: U²³⁵ Fission Reaction Rate Traverse in EPPR Assembly 9

GENERAL WORK PLAN

ZPPR Assembly 10

A.I. Approach to Critical, Phase A

Assembly 10 Phase A will be similar to assembly 9, except that it will have hexagonal core boundaries and nineteen sodium-filled control rod positions (CRPs). At the end of the Assembly 9 program, fuel drawers will be removed from the proposed ZPPR 10 CRP locations and the outline rearranged according to Fig. 1. Fuel will be removed from these drawers and stored in the vault; the drawers, then containing only inert materials, will be re-numbered to correspond to expanded inner core positions and inserted into the matrix. The approach to critical will be performed by first adding fuel to the inert inner core drawers, and then by spiking selected inner and outer core drawers. Spiked drawers will be the same type as the outer core-double-column drawers of Assembly 9, as shown in Fig. 2.

All steps in the approach to critical will be approved by the Reactor Manager. The detectors used for the approach will include the two picoammeter channels, the half-1 and wall BF_3 chambers, and two fission chambers near the core center.

A.II. Operational Measurements

The total worth of the poison safety rods will be measured and the temperature coefficient will be shown to be negative. The safety rod gangs will be the same as in assembly 9, so that the insertion rate will be measured only for the highest worth gang. Additional measurements will include gap worth, shim rod calibrations, and effective source.

A.III. Reaction Rate Distributions

Radial and axial reaction rate traverses will be measured in sufficient detail to provide reference distributions for later phases of Assembly 10. Foils of ^{239}Pu , ^{235}U and ^{238}U and TLDs will be used for the reaction rate maps.

A.IV. Control Rod Worths

Selected groups of mockup rods will be measured, such as the central rod, the six inner ring rods, the 12 outer ring rods, and each ring with the center rod. Outer ring flats, outer ring corners, and a combination of outer ring flats and three inner ring rods will also be included. Sufficient single rod measurements will be included for determining rod interaction effects. The "mockup" rods are larger in cross section than typical power reactor subassemblies. A number of central rod measurements will be made to study specific control rod designs. These will use boron pins, enriched to 90% ^{10}B , and steel pins in calandria to model different rod geometries. Natural boron carbide pins will also be used to study enrichment effects.

A.V. Small Samples

Radial reactivity traverses will be measured for a small subset of the samples used in ZPPR-9. At a minimum, reactivity normalization will be obtained for ^{239}Pu and ^{10}B . Other measurements, including ^{252}Cf , will be made if interest arises from analysis of the ZPPR-9 experiments or other ZPPR-10 measurements.

A.VI. Sodium Voiding

Sodium void reactivity will be measured in several radial and axial steps. Voided zones will emphasize proximity to control positions as well as similarities to zones voided in ZPPR-9. Sufficient data will be accumulated to compare with ZPPR-9 results, to determine the influence of the large CRPs on the nearby sodium coefficient, and to form the basis for measurements in ZPPR-10B.

A.VII Other Measurements

The need for additional measurements may be identified during the completion of the Assembly 9 program and initial part of Assembly 10. Experiments would be added as required to respond to specific data needs.

B.I. Approach to Critical, Phase B

There will be seven mockup control rods (CRs) inserted in phase B, in positions 1,8,10,12,14,16, and 18 as shown in Fig. 1. The approach to critical will be accomplished by spiking both the inner and outer core zones. Spiked drawers, whether used in the inner or outer core, will be of the same type as the outer core double column drawers. The detectors used will be the same as in Step A.I above.

B.II. Operational Measurements

Essentially the same measurements will be performed as for phase A, except for gap worth.

B.III Phase B Experiments

1. Reaction Rate Distribution, as in phase A, with emphasis on distributions near CRs.
2. Control Rod Worths, including inner ring and outer ring corners.
3. Small Samples, as in phase A.
4. Sodium Voiding, as in phase A, with emphasis around CRs.
5. Other Measurements, as required.

C.I Approach to Critical, Phase C

Phase C of assembly 10 will be the maximum size (6000 liters) that can be achieved with the present materials inventory (approximately 2450 kg fissile of standard ZPR U-Pu-Mo plates). After all inner and outer core spikes from phases A and B are removed and stored, the CRs will be changed to CRPs as in phase A, but positioned as in Figure 3. The outer-core single-column

drawers (containing Na_2CO_3) will be used to expand the radius of the inner core, and the outer core will be expanded to maintain roughly the same power split and volume ratio as in phase A. The steps in the approach to critical will begin with the repositioning of the spikes to double column outer-core drawer locations. Since the inventory of Na_2CO_3 is exhausted by the smaller phase A and B, preloaded single column outer core drawers with no Na_2CO_3 will then be loaded in the outer core. The use of Na_2CO_3 provides a better simulation of the stoichiometric balance between heavy metal and oxygen. The radial blanket and reflector will be expanded along with the core in order to maintain the same thickness as in phases A and B. Detectors used will be the same as in the previous phases.

C.II Operational Measurements

Operational measurements will be the same as in phase A, including gap worth.

C.III Phase C Experiments

1. Reaction Rate Distributions, similar to those performed in phase A.
2. Control Rod Worths, similar to those performed in phase A except more limited in scope.
3. Other Measurements for normalization to other phases.

Time Estimates for ZPPR Assembly 10

Experiment	Time, days
Phase A Approach	11
Operational Measurements	2
Reaction Rate Distributions	3
Control Rod Worths	10
Small Samples	4
Sodium Voiding	20
Phase A Total	50
Phase B-Approach	8
Operational Measurements	2
Reaction Rate Distribution	3
Control Rod Worths	5
Small Samples	4
Sodium Void	20
Phase B Total	42
Phase C Approach	12
Operational Measurements	2
Reaction Rate Distribution	3
Control Rod Worths	4
Phase C Total	21
Operational Requirements (15%)	17
Assembly 10 Total	

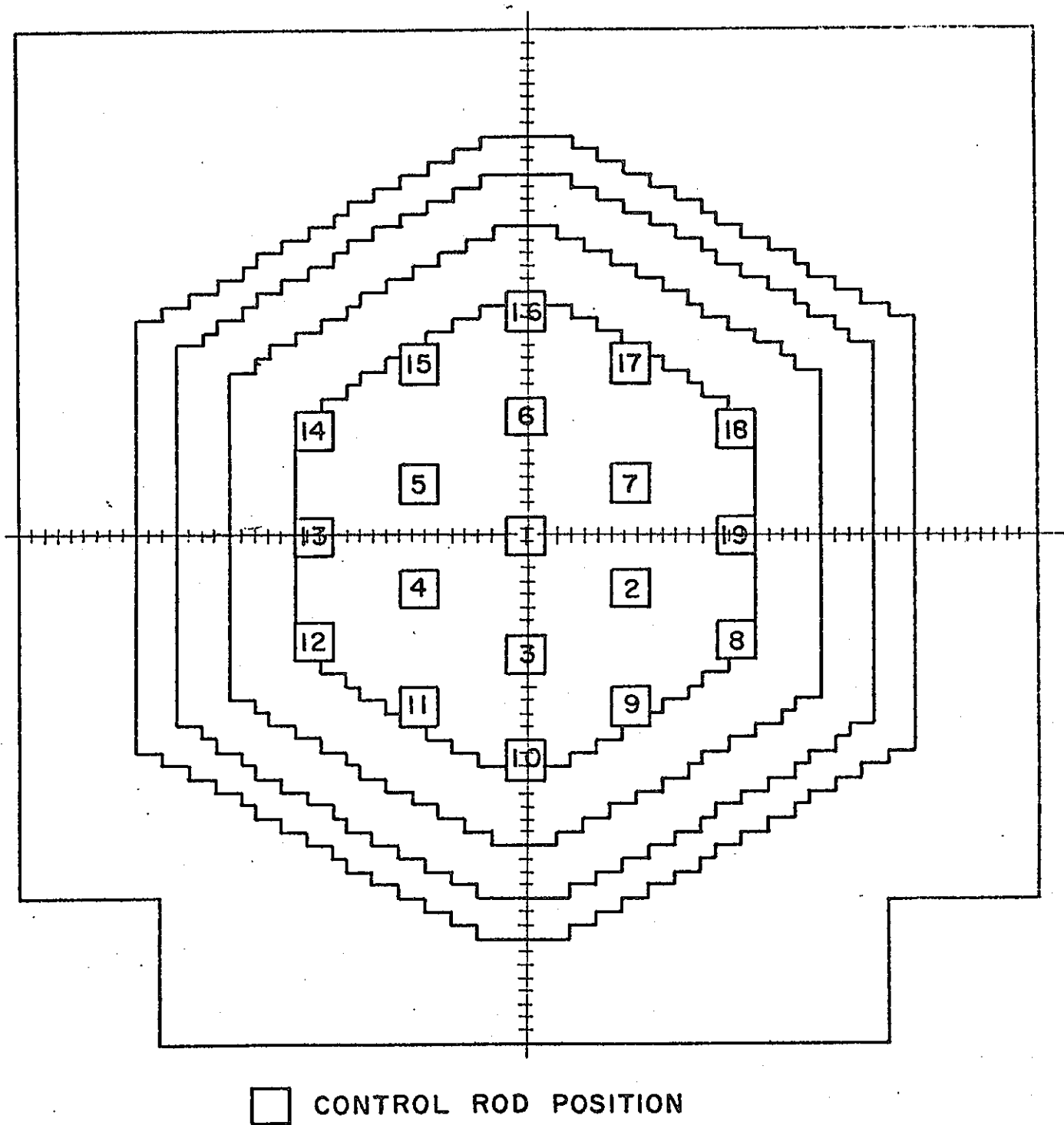
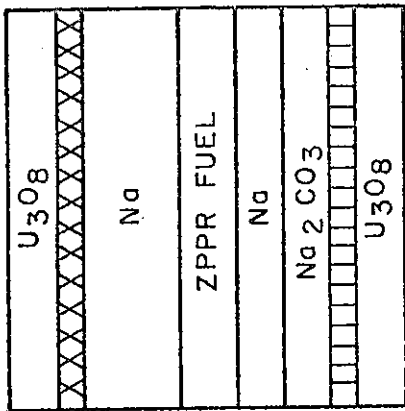
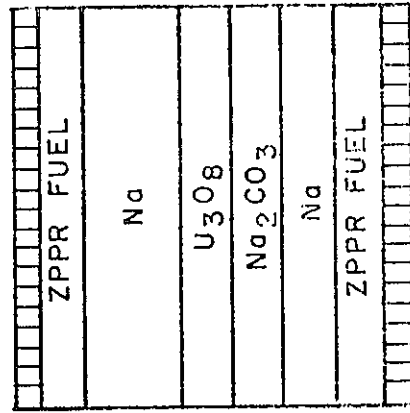


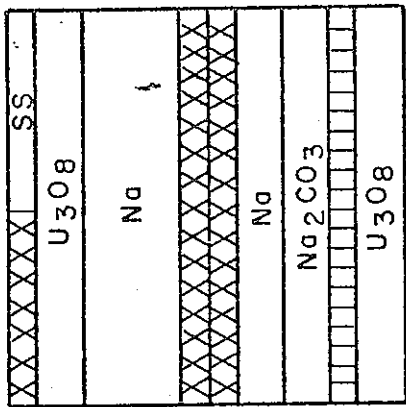
Figure 1: Core Interface Diagram for Assembly 10 Phases A & B



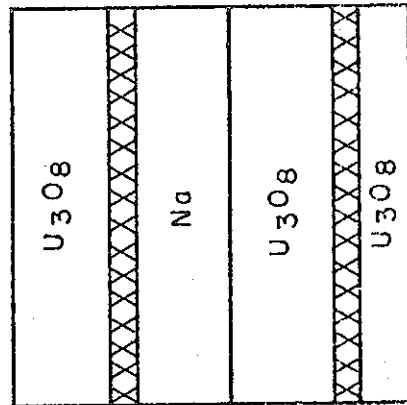
INNER CORE / OUTER CORE SINGLE FUEL COLUMN



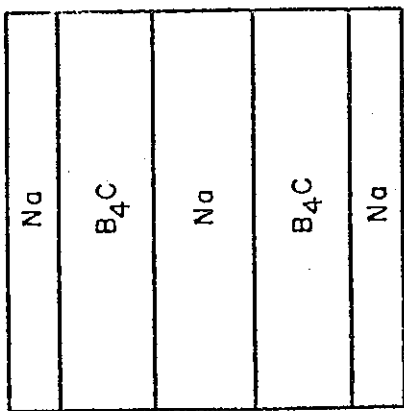
OUTER CORE DOUBLE FUEL COLUMN



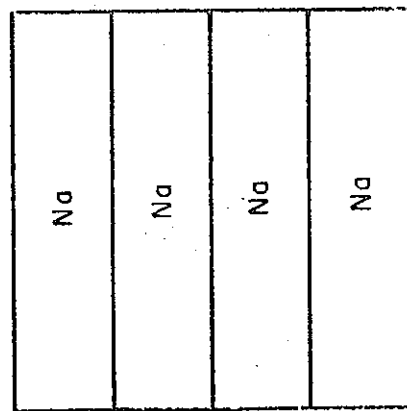
AXIAL BLANKET




RADIAL BLANKET



CONTROL ROD DRAWER



SODIUM FILLED DRAWER

 Fe_2O_3


 U^{238}

Figure 2: Drawer Interface Diagrams for Assembly 10

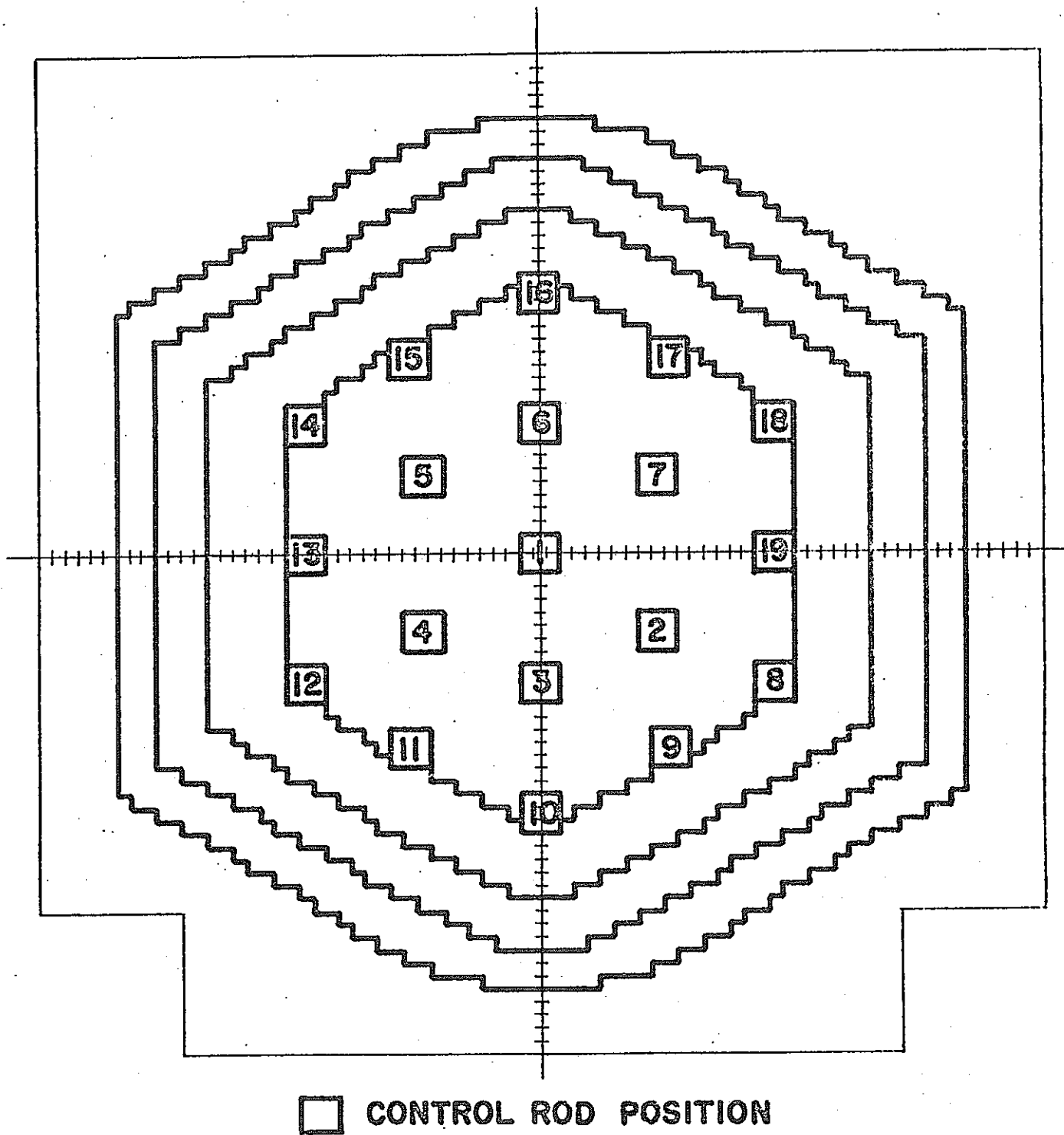


Fig. 3. Core Interface Diagram for Assembly 10 Phase C

ZPPR Assembly 10 Program

Benchmark Critical Experiments for Two-Zoned
LMFBRs in the 700-950 MWe Range

Argonne National Laboratory
Applied Physics Division
September 13, 1978

Summary

Three Assembly 10 phases are proposed to study the neutron physics of two-zoned LMFBRs of two different sizes:

ZPPR-10A: An end-of-cycle configuration (sodium-filled control rod positions, but no inserted control rods) for a 4600 liter core (~ 700 MWe).

ZPPR-10B: A beginning-of-cycle configuration for the same reactor (seven inserted control rods)

ZPPR-10C: An end-of-cycle configuration for a 6000 liter core (~ 950 MWe)

Measurements will include reaction rates, control rod worths and interactions, sodium-void reactivities, small-sample worths, and other necessary experiments that can be identified.

Objectives

The ZPPR Assembly 10 program is intended to add to the information available on intermediate-sized LMFBRs. Recall that Assembly 9 was a clean benchmark experiment for reactors in the 700 MWe class; it had a simple geometric configuration and no simulated control rods. Assembly 10 is the next step; as shown in Figure 1 it contains nineteen control rod positions and core outlines more typical of real reactor designs. As Assemblies 2-4 formed a reactor physics data base for demonstration-sized LMFBRs, Assemblies 9-10 are intended to form a data base for the intermediate-sized systems.

The ZPPR-10 configuration should be typical of LMFBR designs, and the program should address perceived design issues. In addition, maximum use should be made of the ZPPR-9 information, and straightforward comparisons of results from the two assemblies should be possible.

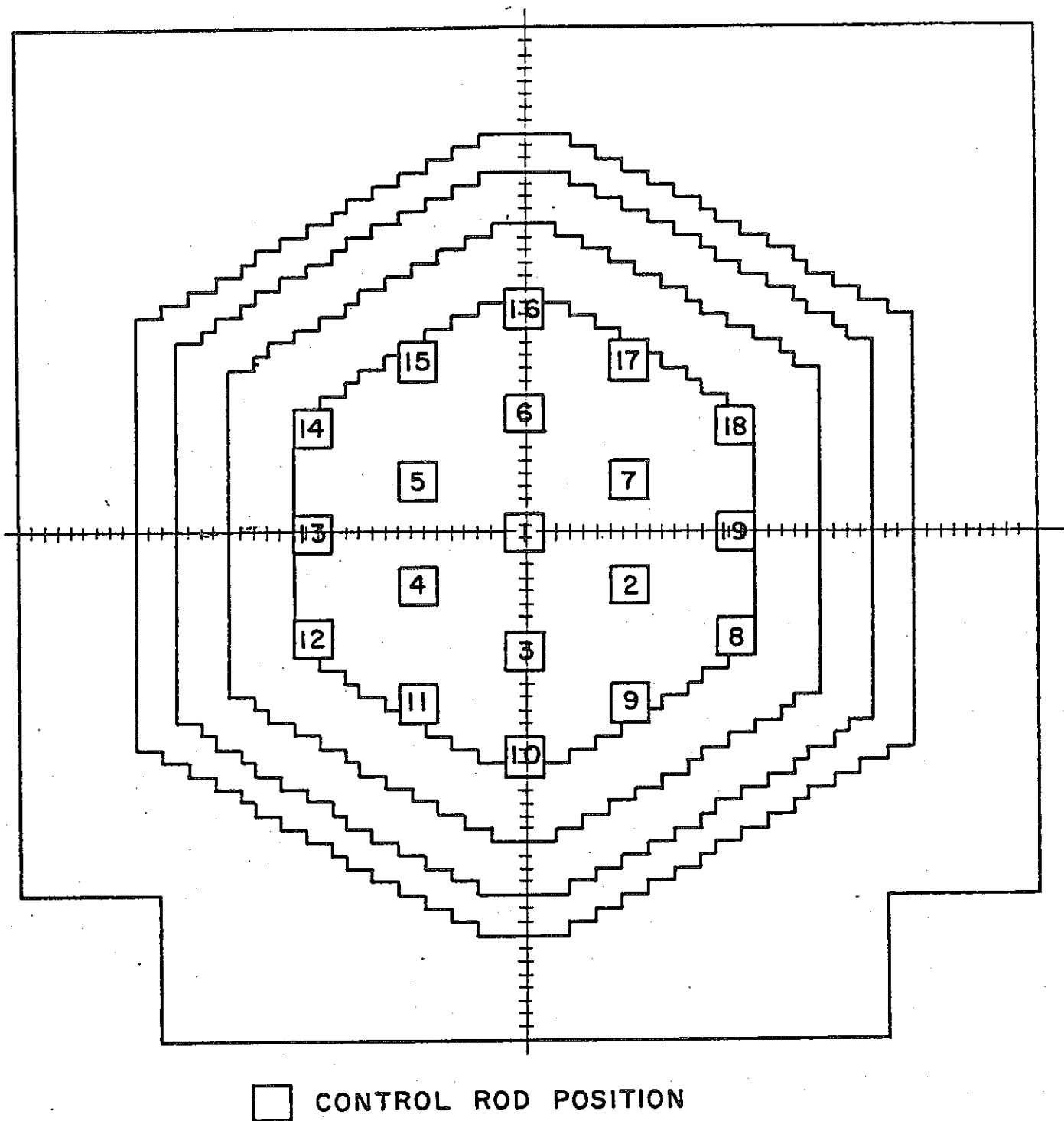


Figure 1: Core Interface Diagram for Assembly 10 Phases A & B

Configurations

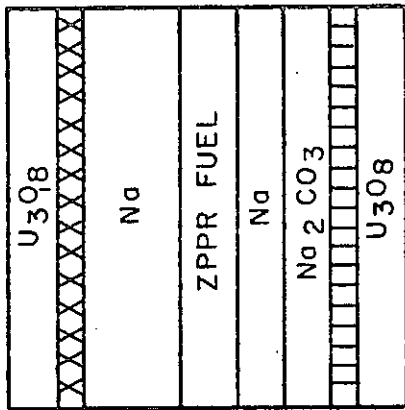
Some general observations about ZPPR-10 configurations include:

- The reactor compositions will be similar to those in Assembly 9. For the core, cell designs simulating near-optimum breeding performance will be retained:

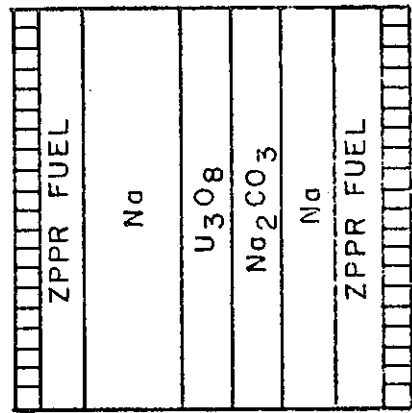
Heavy metal volume fraction	41%
Structure	22%
Sodium	37%

Cell designs for the major reactor zones are shown in Fig. 2; they are the same as in ZPPR-9.

- The core volume (4600 liters) and height (40 inches or 1.02 meters) of ZPPR-10A and 10B will be identical to those in ZPPR-9.
- The core volume of ZPPR-10C (6000 liters) will correspond to the largest system of 40" height that can be constructed with these compositions.
- The enrichment split will be fixed to yield a suitable peak-to-average power characteristic. This will be done by addition or subtraction of double-column fuel drawers.
- The control rod design (3 x 3 matrix positions) is large, but was chosen because of its symmetrical geometry, and because natural B_4C can be used to provide enough worth. Special experiments were done in ZPPR-9 to examine size and enrichment effects; more will be done in ZPPR-10 if needed.

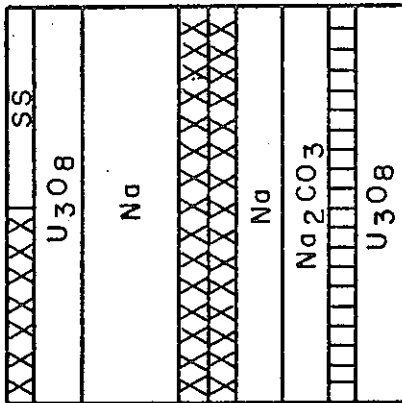


INNER CORE / OUTER CORE
SINGLE FUEL COLUMN

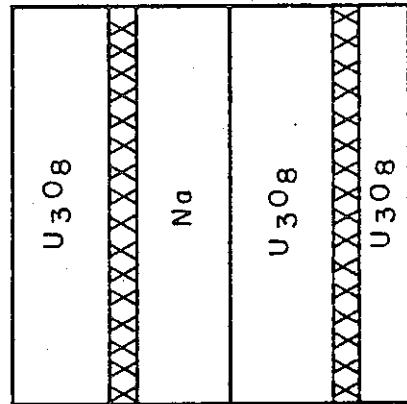


OUTER CORE
DOUBLE FUEL COLUMN

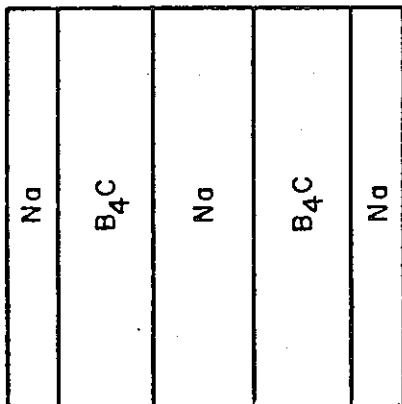
⑥



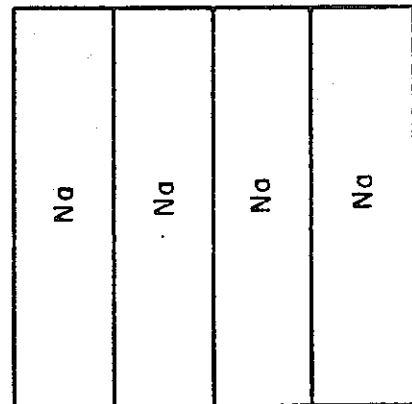
AXIAL BLANKET



RADIAL BLANKET



CONTROL ROD DRAWER



SODIUM FILLED DRAWER

|||| Fe₂O₃

XXX U²³⁸

Figure 2: Drawer Interface Diagrams for Assembly 10

Experiments

The experimental program for Assembly 10 will take about six months, and includes:

- . Control rod measurements to emphasize size effects, tilts and interactions.
- . Reaction rate distributions, particularly in the vicinity of CRs and CRPs
- . Sodium void reactivities for comparison with earlier measurements, and to study effects near CRs and CRPs
- . Perturbation worths to facilitate comparisons to other assemblies and to complement other experiments.
- . Other experiments, as needs are demonstrated by results of the experiments and analysis of the Assembly 9 program.

ZPPR-10A

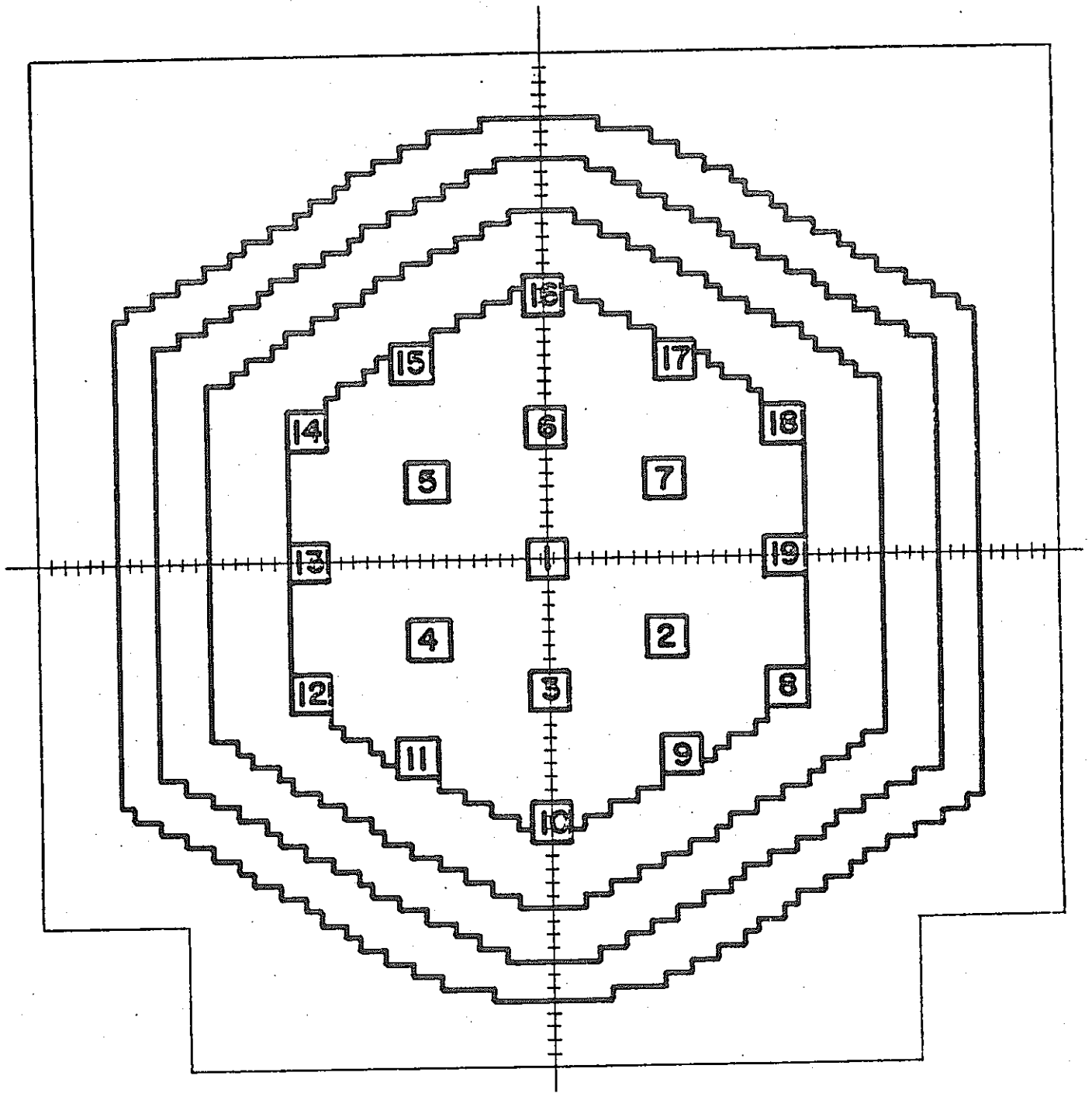
ZPPR-10A will be a 4600 liter core which simulates the end-of-cycle configuration with nineteen sodium filled channels. This phase will be most nearly like the assembly 9 configuration, and will provide the reference configuration for the assembly 10 program. Limited inner-core spiking with double fuel column drawers (about 2% of the drawers) will be required to compensate for the configuration changes relative to assembly 9. The core outline is shown in Figure 1.

ZPPR-10B

ZPPR-10B will simulate a beginning-of-cycle configuration having 7 control rods inserted. These will include the central rod and six outer ring rods located on the flats of the hexagonal boundary. Measurements in this phase will emphasize the presence of the control rods and the resulting shift in the neutron flux. The configuration will be the same as for ZPPR-10A, with criticality being maintained with the addition of double fuel column drawers.

ZPPR-10C

ZPPR-10C will be a 6000 liter core which simulates an end-of-cycle configuration. The basic design will be the same as before, with similar compositions, 19 CRPs, and hexagonal core boundaries. The blanket and reflector volumes will be expanded to accommodate the increased core size. The core is shown in Figure 3.



□ CONTROL ROD POSITION

Fig. 3. Core Interface Diagram for Assembly 10 Phase C

Experiments

The experimental program for Assembly 10 will take about six months, and includes:

- Control rod measurements to emphasize size effects, tilts and interactions.
- Reaction rate distributions, particularly in the vicinity of CRs and CRPs
- Sodium void reactivities for comparison with earlier measurements, and to study effects near CRs and CRPs
- Perturbation worths to facilitate comparisons to other assemblies and to complement other experiments.
- Other experiments, as needs are demonstrated by results of the experiments and analysis of the Assembly 9 program.

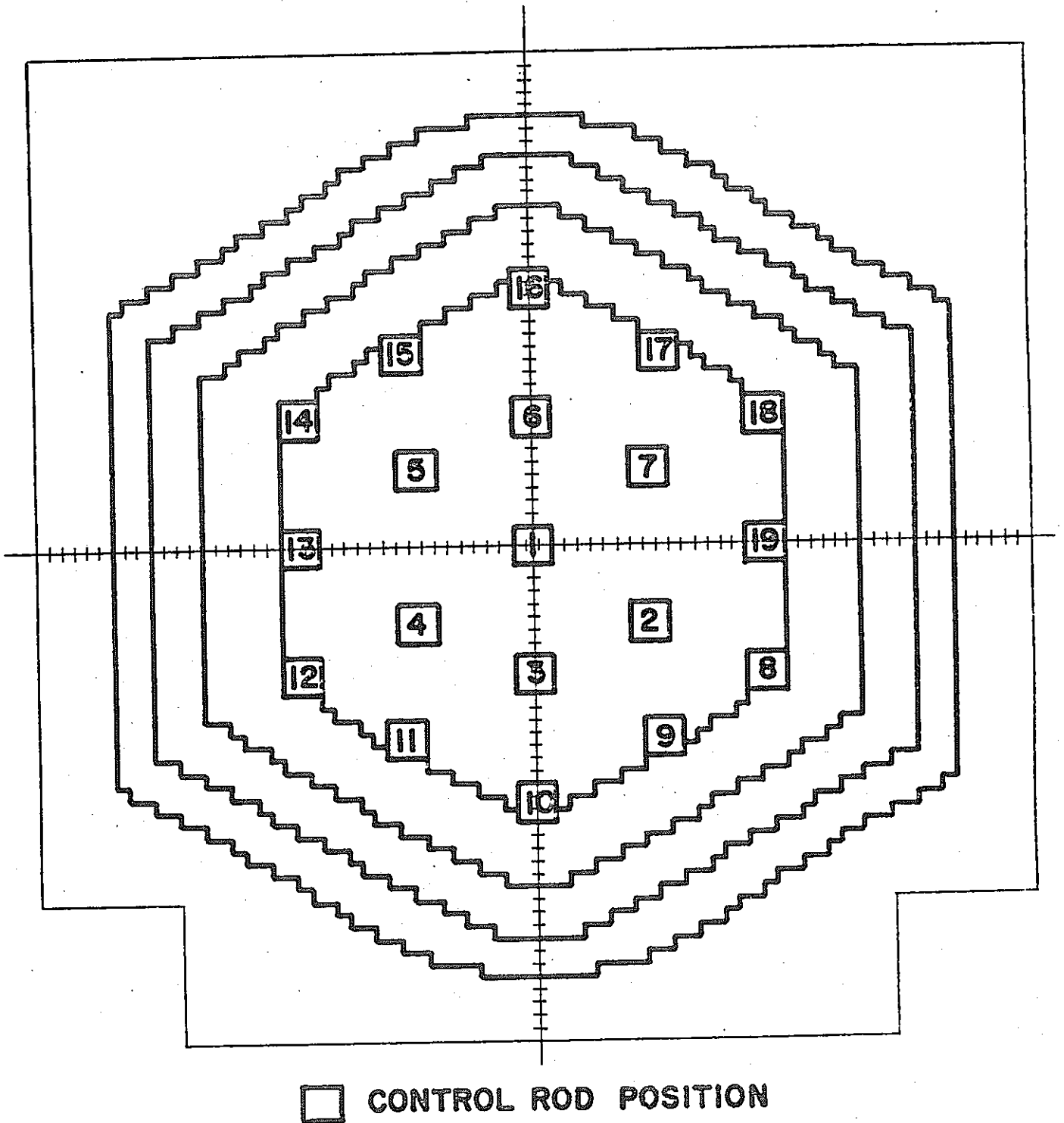
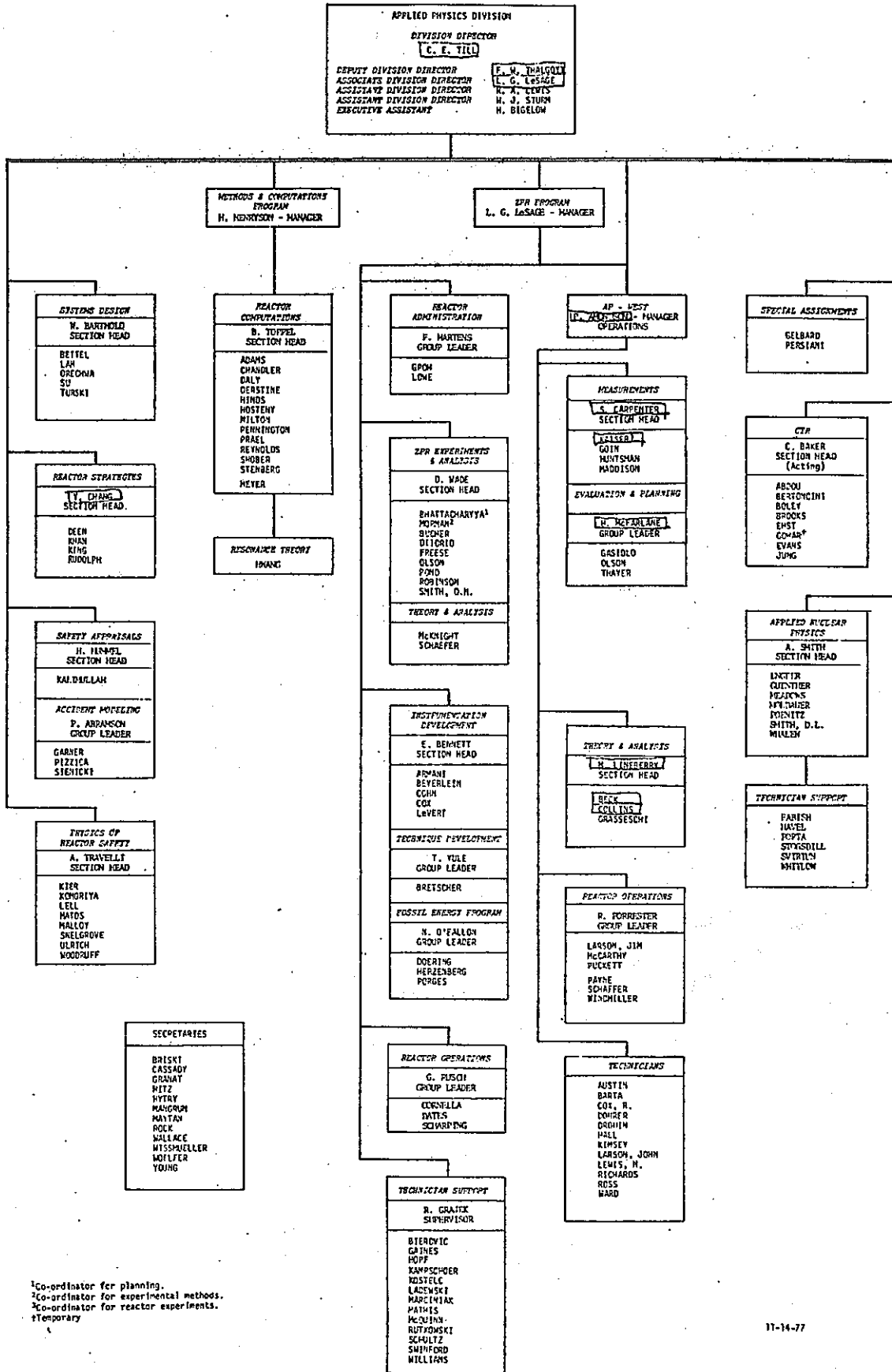


Fig. 3. Core Interface Diagram for Assembly 10 Phase C



1Co-ordinator for planning.
 2Co-ordinator for experimental methods.
 3Co-ordinator for reactor experiments.
 †Temporary