

日本の素粒子研究所について

1968年7月

山口 嘉夫

PHYS-UT
YY-2

日本の素粒子研究所について

1968年7月

山口 嘉夫

東京大学理学部物理学教室

ま え お き

先に書いた解説書「ヨーロッパを中心とする高エネルギー物理学の発展と現状」(1968年7月)についで、こゝでは我が国の素粒子研究所について論ずることとする。筆者は、長らく直接的にも間接的にも「素研設立計画」に参加しているので、フリーな立場にあるというわけには行かないことを熟知しているが、この報告ではできる限り中立且つフリーな見知から素研問題を論じようとして見た。勿論、実際に書いて見るとこの意図があまり果されていないことを思い知らされた。

この報告は、素研問題を審議される方々、それを議論したいと思われる識者、或は日本の高エネルギー実験の将来をうれえる若い研究者、……といった多方面の人々を頭に思い浮かべながら、とり急ぎまとめてみた。多目的用とした為に、夫々の一つの目的のためには出来のよくないことを自認する。更にこの報告は、素研準備室から出されている多くのすぐれた計画書・報告書に代るものでは毛頭なく、一理論物理学者の草した拙なき一文に過ぎない。更に、これは筆者が「自然」に連載中のシリーズの素材でもある。

1968年7月

山口 嘉 夫

× × ×

こゝでは、「ヨーロッパを中心とする高エネルギー物理学の発展と現状」(1968年7月)(PHYS-UT, YY-1)をIとして引用する。IのX章はI-Xとして示す。

× × ×

これを読む大学院学生諸君及び 将来素研で働くであろう人々のために

ここには高エネルギー物理学に関する専門書とか学術雑誌等には書かれていないような、高エネルギー研究の舞台裏をも煩瑣を厭わず記すことにした。それ等は筆者の数年にわたるCERN滞在と欧米の多くの高エネルギー物理研究所訪問における見聞に基くものである。それ等は、高エネルギー研究を志す大学院学生諸君にとっても多分興味あることであろうし、又このような舞台の表面に見えないことを知ることは高エネルギー研究に有形無形の用をなすものと思う。更に若い研究者が近い将来外国の高エネルギー研究所に行く時何等かの役に立てばと願ったからである。そして、幸にも素研が速かに発足するのであれば、素研で働くであろう人々——高エネルギー研究者に限らない——にもよく知っておいてもらいたいと考えるものである。

これだけ読んでも判るようにしてあるが、できれば筆者のかいた解説I（或は殆ど同じものだが、自然、1968年、6月号（P. 58）、8月号（P. 62）及び9月号（P. 55）；素粒子論研究34巻（1966）D60、同36巻（1967）243）を併せて見ていただきたい。

× × ×

なおこの解説が長すぎると思う人は、原子核研究所の諏訪繁樹教授の書かれた「400億電子ボルト陽子加速器について」（昭和43年6月）や熊谷寛夫教授の作られた「素粒子研究所の施設」（1967年）を読んでほしい。これらの簡潔ですぐれた解説を読んだ上で、暇なときに気長にこれを見てほしいと思う。これらの解説書をはじめとして、東大核研の「素研準備室」が作成された図や諸資料を多数この中に利用させていたといた、ここに厚く謝意を表明しておきたい。

素粒子研究所（略称。「素研」）とは何か

物質の窮極的な構成要素——素粒子——のことを調べるには、高エネルギーの素粒子を創り出す必要がある。それは物質のより微細な構造を探究するためと不安定で天然には存在しない種々の素粒子をつくり出して研究するためである。日本の素研の中心施設としては陽子を40 GeVのエネルギーに加速するシンクロトロンを置くことになっている。この加速器の直径は約400 mに達し、放射能を外部に出さないように地下に埋め上にも土を盛り上げておく、このシンクロトロンで得られた高エネルギーの素粒子を物理実験に使うのだが、それには1 kmにも及ぶ長さの実験 area がある。更に研究室、事務室、講堂、サービス工場等を揃え、又将来の拡張計画の為の余地を見込めば、素研の敷地は少くとも1 km × 2 kmの大きさが必要である。

シンクロトロン完成の頃には、素研の総人員が数百人乃至1000人となる。シンクロトロンを用いて多くの素粒子実験が行われることになるが、実験装置の中でも高価で建設に長期間を要する泡箱などは、シンクロトロン建設と並行して、作られる予定である。

素研の総経費は（人件費・土地代を除いて）最初の5カ年に約300億円と見積られている。

この素研計画の内容を以下に於て詳しく述べることにしよう。

目 次

1, 加速器のエネルギーと高エネルギー研究費	1
2, 素研の敷地	7
3, 196×年「素粒子研究所」発足す…… —— 仮想ルポルタージュ ——	17
4, 素研の陽子シンクロトロンとその周辺施設	35
5 高エネルギー加速器を用いる実験	53
6 高エネルギー研究所 よもやま話	91
7 現状において素研の陽子シンクロトロンは40 GeV でよいか?	103

巻 末 註

単 位	107
外国の主な高エネルギー物理研究所一覧表	108

1 加速器のエネルギーと高エネルギー研究費

1. 加速器のエネルギーと高エネルギー研究費

前稿「ヨーロッパを中心とする高エネルギー物理学の発展と現状」(以下これをIとして引用する)を受けて、今回は日本の高エネルギー計画、即ち「素粒子研究所」*、の問題を論ずることとしよう。

まづ前稿Iに示した表(Iの表6、表6A、表7、表8、表15)を簡略にまとめたりして再び示すことにしよう。それが表1.1～表1.3である。

表1.1 1966年度での西ヨーロッパ諸国における高エネルギー物理学の研究予算(1スイス・フランを84円で換算した)

(ECFA Report 1967年の資料による)

	高エネルギー物理学への総予算 (A)	国内で使用される予算 (B)	(B)のうちCERNでの研究と直接関係ある分(C)	CERNへの分担金 (D)	$\frac{B}{D}$	$\frac{B-C}{C+D}$
	億円	億円	億円	億円		
フランス	144	115	29	29	4.1	1.5
イギリス	137	105	6	32	3.3	2.6
西ドイツ	90	56	10	34	1.7	1.0
イタリア	52	36	9	16	2.2	1.1
オランダ	9.3	3.7	2.8	5.6	0.7	0.11
スウェーデン	8.6	2.8	0.9	5.8	0.5	0.28
スイス	8.3	3.8	2.1	4.5	0.8	0.25
ベルギー	7.7	2.6	1.6	5.1	0.5	0.15
スペイン	6.4	1.4	0.8	5.0	0.3	0.10
デンマーク	3.7	0.8	0.5	2.9	0.3	0.09
オーストリー	3.4	0.6	0.2	2.8	0.3	0.13
ノルウェー	2.9	0.8	0.3	2.1	0.4	0.21
ギリシャ	1.5	0.7	0.5	0.8	0.9	0.15
計	474.8	329.2	63.7	145.6	2.3	1.3
アメリカ	630					
日本	4					

* これを以下では、慣行に従い、素研と略称する。

表 1.2 日本とアメリカの高エネルギー物理学への政府支出とCERNの年間支出

(単位：億円)

	高エネルギー物理学への支出		CERNの年間支出 ^{**}
	日 本	ア メ リ カ [*]	
1948	—	23	—
49	—	31.0	—
50	—	45.0	—
51	—	47.9	—
52	—	34.6	5.9
53	—	44.3	
54	—	41.0	
55	—	43.2	16.0
56	1.04	56.9	32.8
57	0.62	86.4	50.4
58	0.63	115.1	48.7
59	0.28	184	47.0
60	0.38	202	55.4
61	0.55	313	58.8
62	0.47	389	68.0
63	1.53	464	79.8
64	2.47	482	95.8
65	3.49	568	118
66	4.04	630	149
67	5.51	593	211
68	(2.9)	640(推定)	236(予算額)
69			約250(推定)

* 1ドル=360円で換算した。

** 1スイスフラン=84円で換算した。これにはISR建設費及び300GeVの準備費を加算してある。

表 1.3 主要国の政府予算に占める科学技術関係予算及び高エネルギー支出の割合

国 別	会計年度	予算総額 (a)	科学技術 (b) 関係予算 (政府支出分)	b / a	資 料 等	1966 高エネルギー 支 出	1966 国民所得	1965 人口
アメリカ	1966/67	112,847 百万ドル 40兆 6,249 億円	16,152 百万ドル 5兆 8,147 億円	14.3%	NSF 年報 (1967) による	630 億円	6,210 億ドル 223 兆円	億人 1,983
ソ 連	1966	1,054 億ルーブル 42兆 1,600 億円	65 億ルーブル 2兆 6,000 億円	6.2	a は大蔵省資料 b は在ソ大使館報 告による	-	77 兆円 (1965年度)	2,306
フランス	1966	100,994 百万フラン 7兆 3,700 億円	9,261 百万フラン 6,753 億円	9.2	a は大蔵省資料 b は在仏大使館報 告による	144 億円	759 億ドル 27.3 兆円	0.498
イギリス	1967/68	8,388 百万ポンド 8兆 4,551 億円	518 百万ポンド 5,224 億円	6.1	在英大使館報告に よる	137 億円	826 億ドル 29.7 兆円	0.546
西ドイツ	1967	77,014 百万マルク 6兆 9,313 億円	3,167 百万マルク 2,851 億円	4.3	在独大使館報告に よる	90 億円	910 億ドル 32.8 兆円	0.568
イタリア						52 億円	491 億ドル 17.7 兆円	0.516
日 本	1967	4兆 9,509 億円	1,679 億円	3.4		5 億円	777 億ドル 28.7 兆円	0.980

(注) 比較に際しては、各国の予算制度の相違、資料の制約等に留意する必要がある。とくに、ドイツについては、州政府予算は含まれていない。

尙本表の大部分は科学技術白書（昭和42年度版）に負う。

第2次大戦後1960年迄の加速器の最高エネルギーは6年間で10倍の割合で上昇した*:

表 1.4

	6年で10倍	実 例	
1947	0.3Gev	UCLRL, 184" SC (0.35Gev) 完成(1947)	
1953	3 Gev	BNL, cosmotron (3 Gev) 完成(1952/53)	
1959	30 Gev	CERN PS (28Gev) 完成(1959)	
		BNL AGS (33Gev) 完成(1960)	
1965	300 Gev	} 単なる外挿	Serpukhov(76Gev)(1967)
1971	3000 Gev		

1960年迄のすばらしいエネルギー上昇は、新しい加速機構の発明や革新的な加速器の改良によつてからとられたものである。1960年以後のエネルギー上昇の鈍化は、主に次の3つの原因に帰せられよう。第1に、加速器建設費があまりにも大きくなり、又 Vietnam戦によるアメリカのドル危機のせいで、次の大計画(200 Gev 加速器)の発足がおくれていること**。従つてソ連も西ヨーロッパでも彼等の300~1000 Gev 計画はアメリカの出方を待って足ぶみ状態にある。第2に、エネルギーの世界一をねらうことなく、有用な加速器が多数整備されつゝあるという世界的傾向のあること。第3に、斬新な加速機構乃至加速器の改良案が今尚“実用化”の域に達しかねていること。第3の点に關聯して、この数年来、高エネルギーの壁を大きくやぶる“第三の手”として、colliding beam machine が登場してめざましい進歩をみせていることは、I-8にくわしく紹介した通りである。そこで述べた如く、多種多様な高エネルギー実験を行うには、高エネルギーの加速器がどうしても必要なのである。その後で、一方において超高エネルギーの加速器を安くつくる方法の開発につとめるとともに他方西ヨーロッパ連合の300 Gev 計画の如き国際協力とか米ソの超大国の大計画〔200 Gev(米), 800 Gev(米)及び 1,000 Gev(ソ)〕 或はもっと雄大に東西にまたがる

* 6年毎に加速器のエネルギーが10倍になるというのは1947~1960の実績で、それが justify されるとか、必要な development の目安であるべきだと強弁しているわけではない。しかしこの物すごいテンポは高エネルギー物理学の活気— 或は研究活動の“エネルギー”— を如実に示すものであるということに異論はなからう。なお、第二次大戦後1960年代のはじめまでは素粒子物理学の実験も理論も大きな進歩をみせて、1960年代後半の進展の基礎の多くが1960年代の前半までに据えられたといつてよい。1960年代後半の現代は、世界一をねらう高エネルギー加速器に關する限り、次の発展をひかえての流動的な胎動期と看做し得よう。

** 最近のニュースによれば、アメリカ議会はついに200Gev 加速器建設を承認したという。

Intercontinental Collaboration による数1,000 Gev の夢の計画などの実現を促進すべきだということになる。

加速器のエネルギー上昇に応じて、アメリカやソ連の、更におくれて西ヨーロッパの、高エネルギー研究費の上昇は実に著しいものがあつた(表1.2参照)。

表1.2にみられるように、アメリカや西ヨーロッパでは、かつて高エネルギー物理学への年間支出の上昇率が国民総所得の増加率を上まわることがあつたけれど、最近では、高エネルギー支出の年間増加率は国民所得のそれをやゝ下まわる辺におさまつて来ている*。それはさもあるべきことであろう。尙、1966会計年度のアメリカについてみると、

$$\left. \begin{aligned} & \left(\text{政府支出の年間研究・開発費} \right) / \left(\text{連邦政府の年間予算} \right) = 14.3\% \\ & \left(\text{1年間の高エネルギー研究費支出} \right) \end{aligned} \right\}$$

$$+ \left(\text{政府及び民間負担の年間研究・開発費} \right) \sim 0.8\%$$

$$\left(\text{1年間の高エネルギー研究費支出} \right)$$

$$+ \left(\text{政府支出の年間研究・開発費} \right) \simeq 1.1\%$$

$$\left(\quad \quad \quad \right) / \left(\text{連邦政府の年間予算} \right) \simeq 0.15\%$$

$$\left(\quad \quad \quad \right) / \left(\text{国民所得総額} \right) \simeq 0.028\%$$

1966年のアメリカについて
(1.1)

となっている。前にものべたように、西ヨーロッパ諸国での高エネルギー支出は、それらの諸国の研究・開発費の中でアメリカの場合(1.1)よりやや高い割合を占めている。

日本の場合については、とてもこゝに書く気のしないほど高エネルギー支出は少いのである(表2,表3参照)。日本においても、高エネルギー研究支出が大巾に伸びて、素粒子研究所が設立され、研究・開発費に対する高エネルギー研究支出の比がせめて欧米先進国なみの水準に達するのが一日も速からんことを切望する。

* 欧米では高エネルギー研究支出は“Malthusian limit”にまで達したと一応みることができのかも知れない。それでは欧米、更にソ連などの先進諸国において高エネルギー研究費の更に飛躍的な増大が、近い将来において、期待できるであろうか？ それには完全軍縮が緒について、これまでの龐大な軍事費(日本を除く先進諸国において政府予算の20数%(アメリカでは1/2を少し上まわる)を占める)が、社会保障・社会改善などと共に大巾に基礎・応用科学にふりかえられる日をまたなければならぬであろう。

2 素 研 の 敷 地

2. 素 研 の 敷 地

よく知られているように、「素研」即ち素粒子研究所は40 GeV（筆者は事情と予算のゆるす範囲で、できるだけエネルギーをあげたいと考えている）の陽子シンクロトロンをもち総経費300億円を要する高エネルギー物理学（すなわち素粒子物理学）の研究所*である。素研をつくるには、相当広い敷地がいる。参考のために、世界のいくつかの高エネルギー研究所の敷地面積を表2.1に示した。

表 2.1 高エネルギー研究所の敷地面積

研 究 所	所 在 地	面 積
CERN	Geneve 郊外, スイス (及びフランス)	82. ha (スイスとフランス 半々にまたがる)
Rutherford 高エネルギー研究所 (RHEL)	Chilton, Berkshire, イギリス	33 ha (81 acres)
国立加速器研究所 (NAL)	Weston, Illinois 州, アメリカ	2,750 ha (=6,800 acres)
素 研	茨 城 県	約 200 ha (約 1km × 2km)

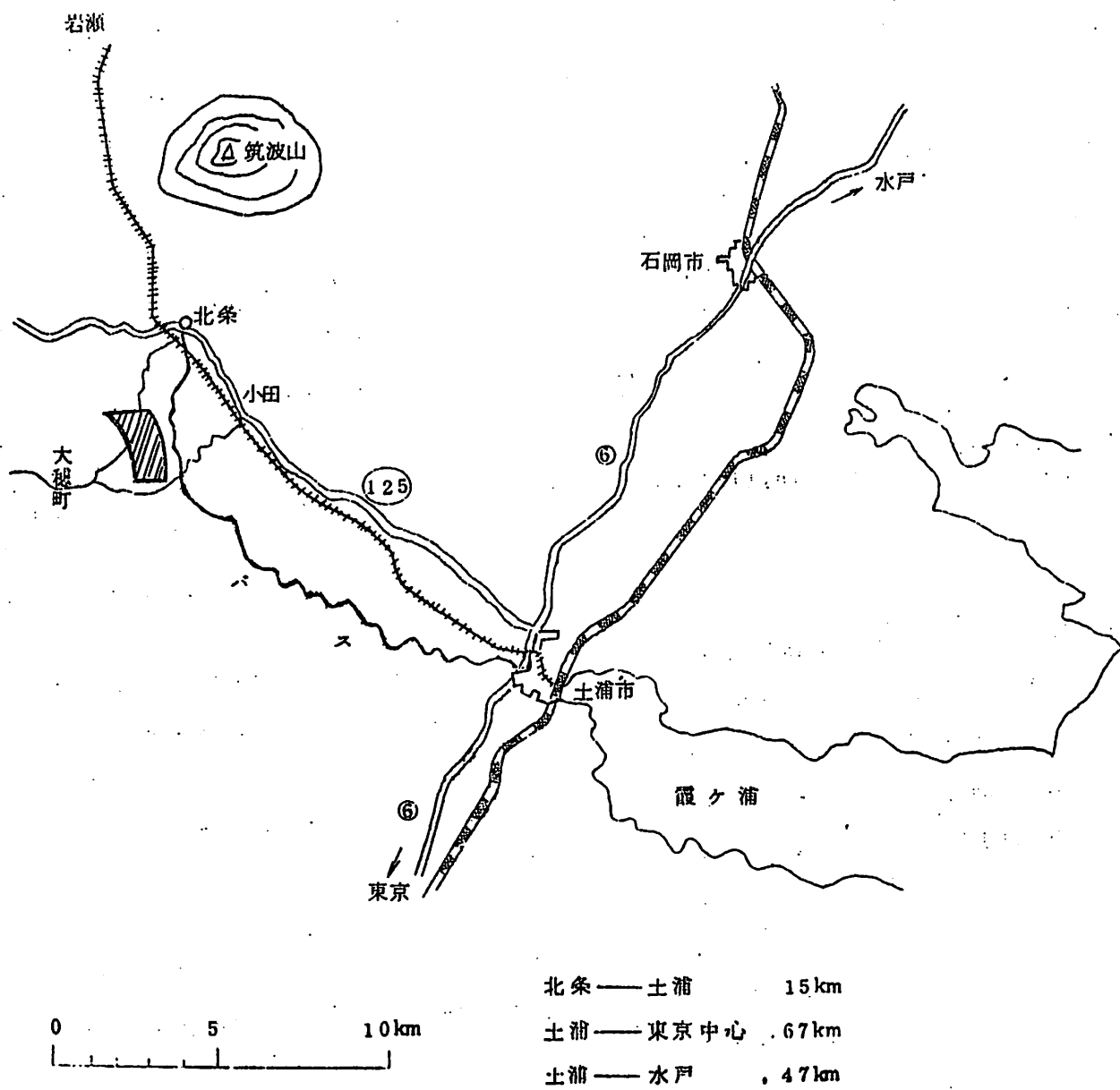
(注) Brookhaven National Laboratory (BNL) や Argonne National Laboratory (ANL) では高エネルギー物理学のみならず、核物理、中性子物理、原子炉、放射線化学、放射線生物学、医学など原子力一般の研究を行っている。そして研究所全体が金工・工作・回路のごときサービス部門をもっているので、高エネルギー部分のみの面積（とか人員）をとり出しにくいので、こゝには記さなかった。

東大原子核研究所（東京都田無市緑町3-2-1）の土地の広さが4.5 ha（13770坪）東大の本郷キャンパス〔本部(1)と(2)〕が44.7 ha〔農学部も含めれば56.0 ha〕であるといえ、表2.1の広さを想像し易いであろうか。

素研の予定地は、しばしば新聞紙上ににぎわした通り、我々高エネルギー関係者は筑波の研究学園都市の北端であると了解している（図2.1, 図2.2）。

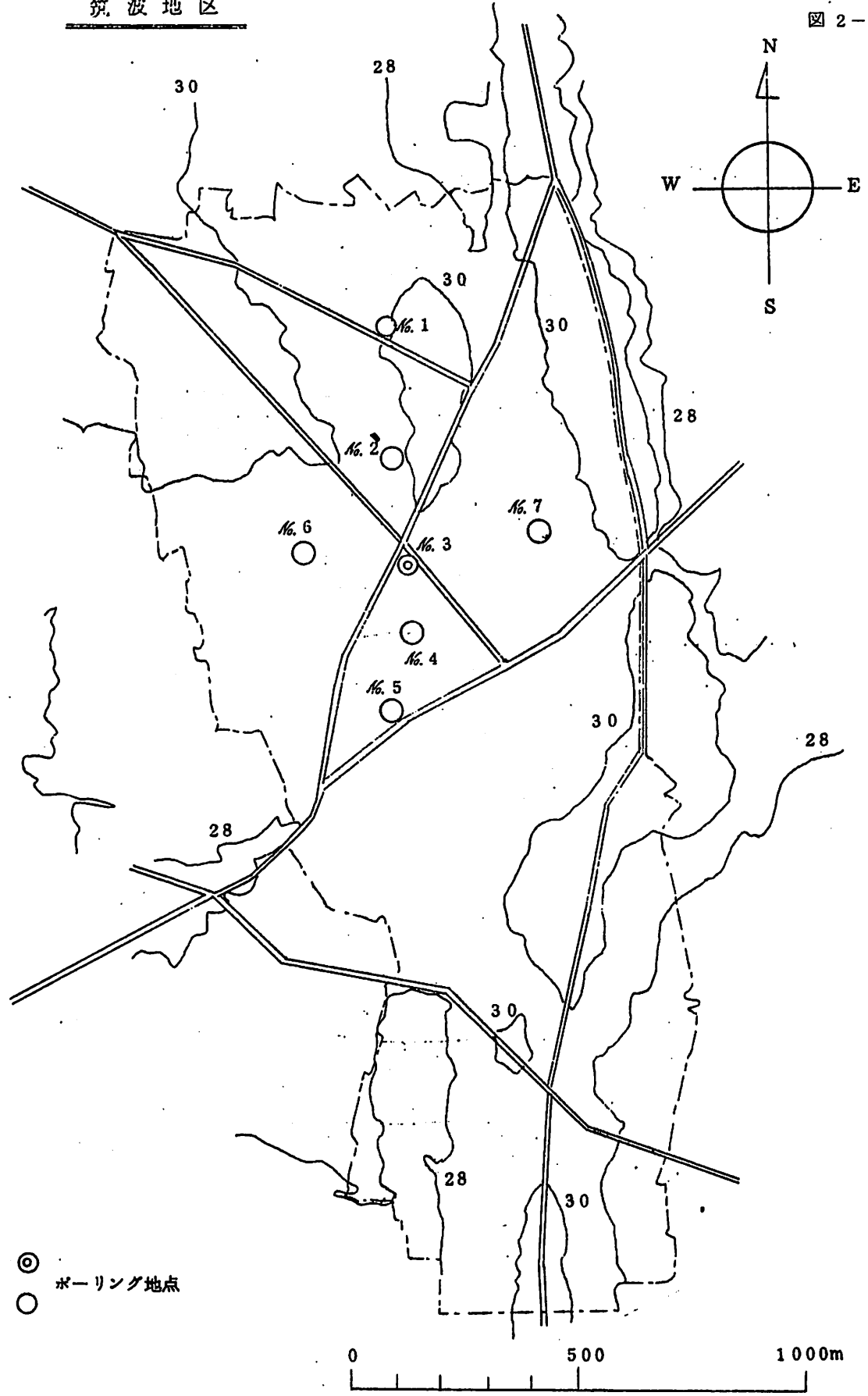
* 陽子シンクロトロン完成後の素研の年間経費は50～60億円を要する。

图 2-1 筑波地区



筑波地区

図 2-2



◎
○
ボーリング地点

筑波地区 (大穗町) 地質断面图

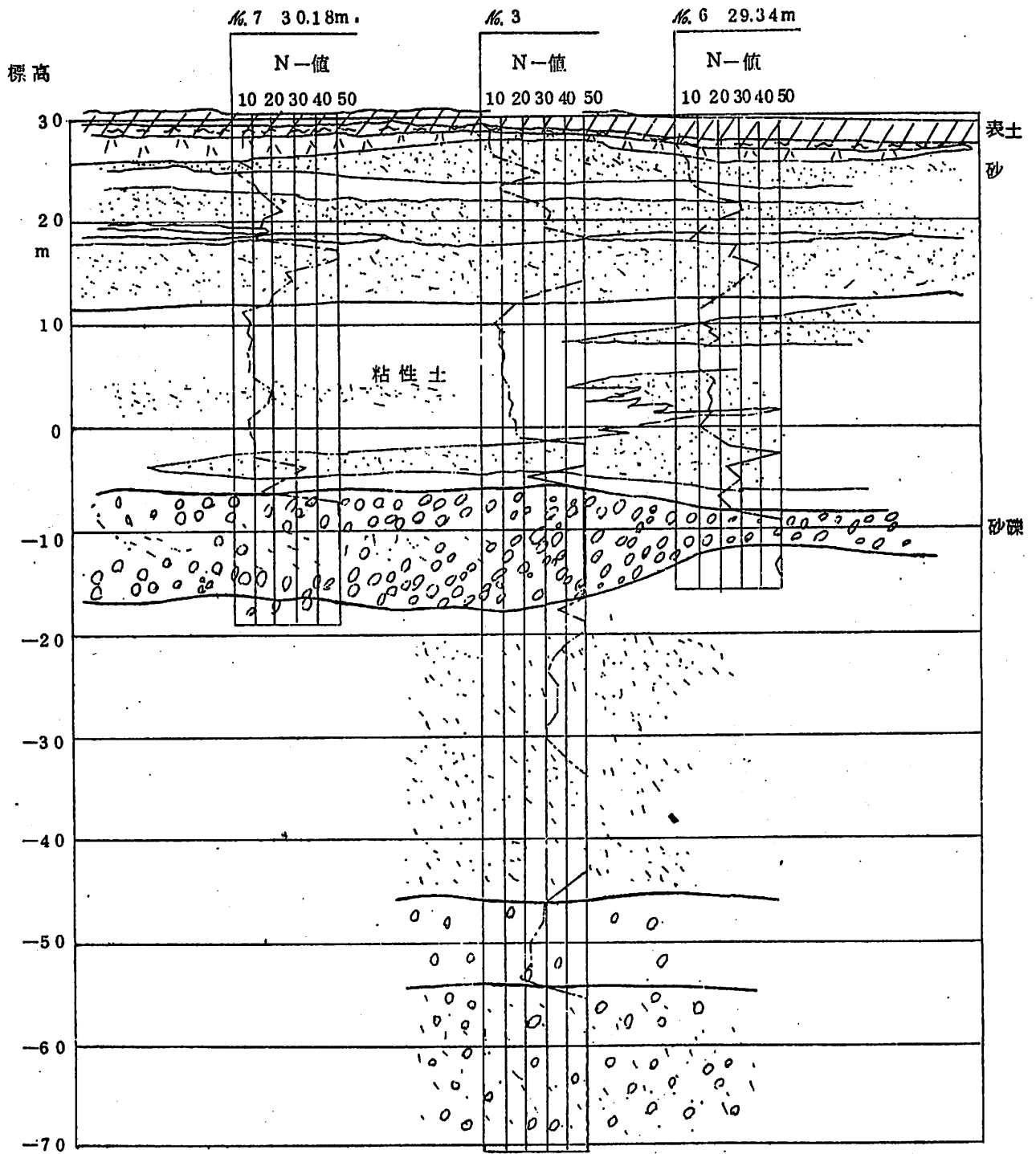
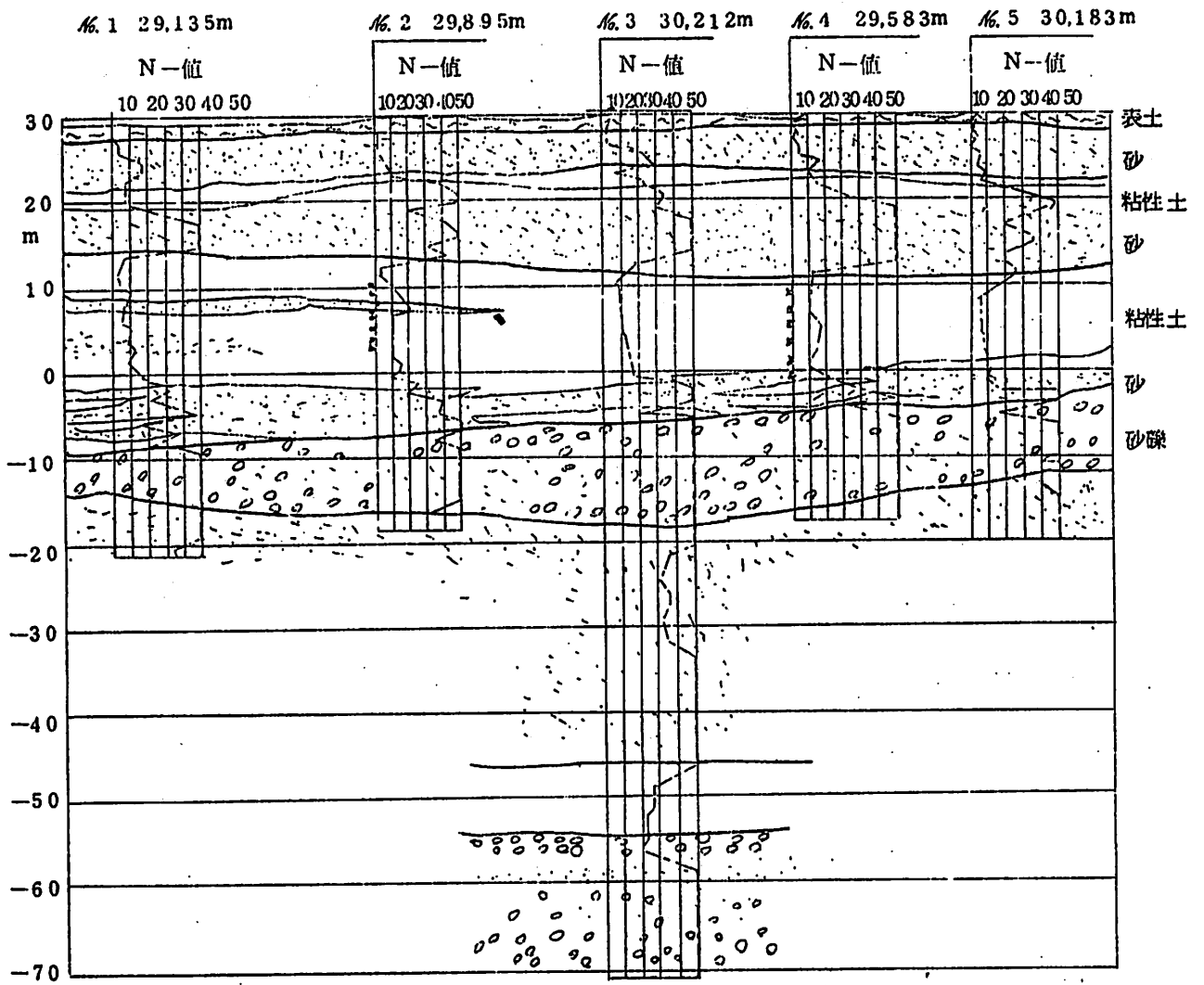
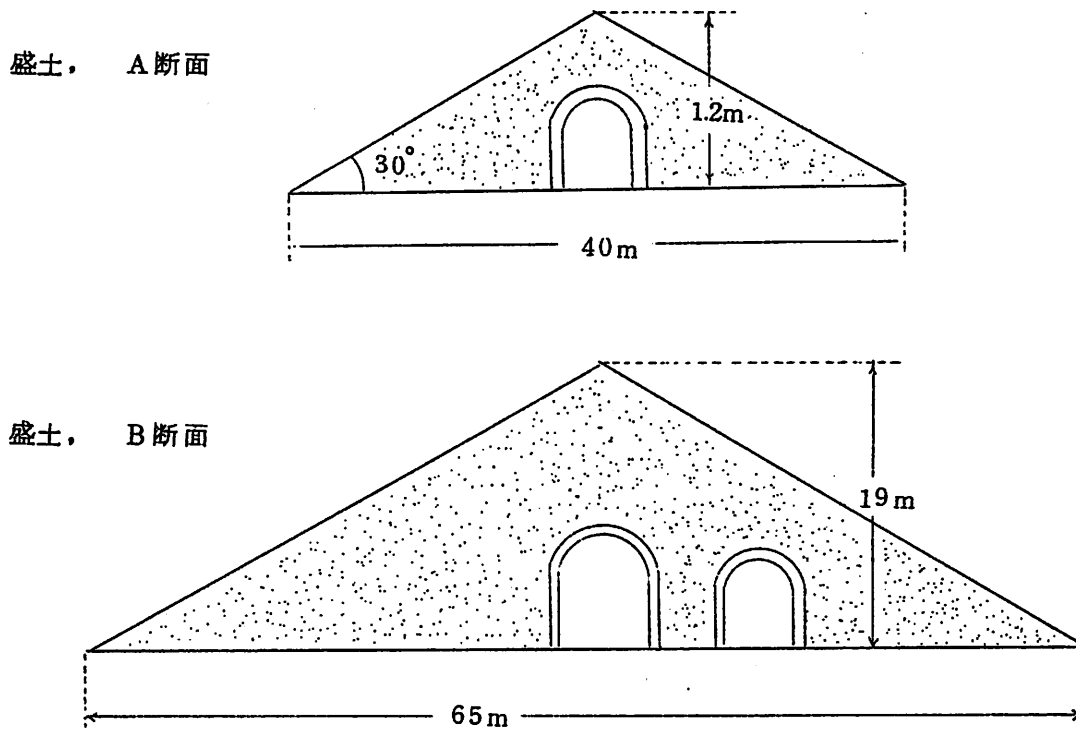


図2-3 (つづき)





上の比重 $\gamma_t = 1.5$

	A断面沈下量	B断面沈下量	
	S_A	S_B	$S_B - S_A$
$M_v \downarrow$	1.27cm	2.47cm	1.20cm
$O_r \downarrow$	3.24cm	4.82cm	1.58cm

(応用地質調査事務所 菅原氏)

この予定地に落ち着くまでに、1959年以来、多くの専門家を煩わして、日本全国にまたがる多数の候補地をとりあげ、〔西ヨーロッパの300 Gev 加速器の敷地選定と同じように（Iの11参照）地理的・地質学的、地震学的、社会的、その他〕多くの観点から詳しく検討した。そして筑波を含めた二候補地においてボーリングを行い、その結果にもとづき、我々高エネルギーの専門家は筑波を素研候補地とすることに決意し、1967年秋文部省に我々の決定を伝えて政府の善処を要望したのである。（図2.2～2.4を見よ。）

この“決定”はそうすんなりと出来たわけではない。アメリカやヨーロッパのような大陸とちがって、日本は土地が狭く、又アジア大陸の東縁の活潑な火山帯、地震帯の上にある。そもそも、日本において、広く、平坦で、地盤がよく、地震のない所をえらぶことは、はじめからできない相談である。そこで、多くの点よりみて、できるだけ“よい”土地で、しかも入手がそう困難でなく、社会的・文化的環境の（近い将来も含めて）良好な所をえらぶことにした。そのようにしてえらんだのが筑波なのである。しかし、筑波には、東京教育大学の移転問題にからむ学内紛争が現におこっているし、他に移転を予定される多くの（国立）研究機関についても移転反対運動があるなど問題が多いようである。

この現実を知りつゝも我々が筑波を選んだのは、素研にとって、総合的に見てそれよりよいと判断される候補地がなかったことによる。我々は、「素研」の、そしてその陽子シンクロトロン、建設が大事業であることを身にしみて知っているので、研究学園都市をめぐるごたごたの渦中に「素研」がまきこまれることを避けた。只、研究学園都市が、すべてにおいて雄大なデスクプランの通りに実現されること、更に住宅、ショッピング、医療、子弟の教育、交通などの必要な諸々の施設が研究所・大学の移転・新設のテンポにあわせて着々と整備されること、を特につよく要望しておきたい。これこそが筑波研究学園都市問題に関連した無用の反対を解決・解消させる途であると思うのである。

附 録 素粒子研究所敷地候補地の順位決定

素粒子研究所準備委員会は昭和42年10月24日に委員会を開き昭和36年以来の敷地調査の結果をふまえて候補地の順位を次の様に決定した。

第1候補地 茨城県筑波郡大穂町筑波町

第2候補地 栃木県那須郡黒磯町鍋掛

この順位決定について準備委員会の報告は次の様に述べている。

素粒子研究所敷地候補地の順位決定について

素粒子研究所準備委員会

(昭和42年10月24日)

素粒子研究所のおかれるべき候補地に順位をつけるためには、土地構造小委員会報告**に詳論されている種々の項目の他に、人文社会的要因を併せ考える必要がある。これらの種々の項目に対していかなる相対的な評価を与えて、総合判断するかについては確立された規準はなく、異論の余地が大であろう。それにも拘らず、本委員会は既に集められた資料にもとづき、またこれまで長期にわたって(高エネルギー検討本部、高エネルギー加速器準備委員会、及び素粒子準備調査委員会において)この問題を議論してきたことをふまえて、2つの候補地の間に次の如く順序をつけた。

結 論 第1候補地 筑波 第2候補地 黒磯

筑波を第1候補地に選んだことについて、次の点を考慮されるよう強く希望する。

1. 広さと形について、予定地東側に建設予定の道路を東に移すと共に、西側の一部を拡張して大体、矩形として、 $2 \times 1.3 \text{ Km}^2$ を確保すること。
2. トンネル工事についての費用を十分に考慮すること。
3. 交通機関、道路等を検討の上、現地までの重量物輸送に支障の無いようにすること。
4. 職員等の居住条件について早急に対策をたてること。特に研究学園都市の全体計画にかかわらず素研の建設の進行状況に合うように考えること。

* 昭和36年以来、現在までの敷地調査の経過については、「素粒子研究所敷地候補地の調査について」(昭和42年10月)の§2, §3, §4, に述べてある。また敷地調査の技術的問題については、素粒子研究所準備室報告 SJC-T-67-7に述べてある。

** 上の脚注に引用した報告書の附録11をみよ。

この結論は文部省その他関係方面に提出され、それが政府による素粒子研究所の土地の選定にあたって十分考慮されることを望んでいる。

このようにきめるに当って考えた要因を表記すれば次の如くである。

		筑波 (T)	黒磯 (K)	判定	註
土	広さ 2 Km × 1.3 Km 形	やゝ不足 やゝ悪い	あ り よ い	K	a
	土地入手の可能性	長さ 2 Km, 巾 1.1 ~ 0.7 Km の分は近い中に住宅公団に より買収される予定	土地取得に当っては住民と 地主の理解にまたねばなら ぬ	T	a
	土地の高低 掘りやすさ	ほゞ平坦 容易	ほゞ平坦 困難ではない	T	
	地震 断層その他地質学 的欠陥	有感地震が多い。破壊的地 震は稀である。 みとめられない	筑波地区の約半分 みとめられない	K	b
地 質	0 ~ 5 m 表土 5 ~ 18 m 硬い砂 18 ~ 13 m 粘性土 ~ 32 m 以下 砂礫 陽子シンクロトロン建設 可能。地下構造は長年月に わたって安定とみられる洪 積層である。電磁石の基礎 杭は深度 32 m の砂礫まで の長さのものとする。自然 水位は深度 ~ 3 m であるが、 排水工事によって ~ 8 m に することが可能である。	0 ~ 17 m 玉石, 砂, 粘土 17 ~ 27 m 火山泥流(硬) 27 m 以下 玉石, 砂, 粘土 陽子シンクロトロン建設 可能。ただし 0 - 17 m に 玉石があるために基礎杭が 入らない。この玉石混りの 土の力学的性質を知る方法 がないために沈下量の推定 が困難である。又、地質学 的に長年月にわたって安定 であるかどうか疑問である。 自然水位は 14 m で好適である。		b	
水力	取水	0.1 トン/秒は 2 ~ 3 本の 深井戸にて可	季節による水位の上下があ るが可		
電力	電力	容易に得られる			

		筑波 (T)	黒磯 (K)	判定	註	
環	交通	常盤線 土浦 土浦 → 筑波 (関東鉄道)	東北線 黒磯駅 (急行停車駅)		c	
	輸送	道路	東京 - 52 km - 土浦 - 15 km - 筑波現地 (国道6号線)	東京 - 160 km - 黒磯 - 1 km - 現地 (国道4号線)	T	
		空港へ	近			
	工・商業中心地に近いかどうか		近		T	c
住宅事情, ショッピングその他居住条件		土浦市 (人口約8万) 及びその周辺に依存	黒磯町 (人口約3万) とその周辺に依存	T	c d	
文教・文化・施設						
現地採用できる職員数よりみて						
境	気象条件		(水戸) 平均温度巾 夏 21~30° 冬 -4~9° 平均湿度 夏 86% 冬 68% 積雪なし	(宇都宮) 平均温度巾 夏 21~30° 冬 -6~8° 平均湿度 夏 84% 冬 71% 積雪なし		

- 註 a 結論にも述べた如く、筑波地区の敷地が近い将来に、ひろげられることを強く希望する。
- b とくに、土地構造小委員会報告を参照。
- c この表の判断は、現状にもとづいて行ったものであるが、筑波学園都市が計画通り実現すれば、これらの項目については筑波がさらに有利となる。
- d 素粒子研究所発足にあたっては、その必要とする多数の人員にかんがみ、住宅・文教文化施設について特に配慮する必要がある。これは筑波地区の学園都市が計画通りすんだとしても、必要なことと考えられる。

3 196X年「素粒子研究所」発足す……

—— 仮想ルポルタージュ ——

3. 196X年「素粒子研究所」発足す。。。

—— 仮想ルポタージュ ——

素粒子研究所設立がいかなる“内容”の仕事であるかを vivid に示すために、196X年その設立が開始されたと想定して、初年度にどんな風に作業が進行するかを想定することにしよう。この“仮想ルポタージュ”は、CERNやBNLにおける経過を参考に構成されたもので、しかも素研発足のおくれを一年でも取り戻すべく実に忙しい建設スケジュールを仮定した。

一日も早くこれが現実のものとなることを……………

X X X

F国某日刊紙——共同通信（東京発）によれば、196X年Y月Z日、日本政府はかねてよりの懸案であった素粒子研究所設立にふみきつたと発表した。詳報はあつて報導するであろう。某著名高エネルギー学者の談話“……………”（略）

X X X

PHYSICS TODAY（アメリカ物理学会発行、月刊）196X年（Y+1）月号に掲載された特報

日本は先月Z日、〇〇GeV陽子加速器をもつ高エネルギー物理研究所をつくることにきめた。この計画はずい分長く討論や準備作業が行なわれ、1967年秋ころにはもう発足も同然と見られていた。しかし同年末になると、日本学術会議と政府の間に素研の組織をめぐる意見の対立が表面化し、また財政的理由もあつて、その発足が無期延期となっていたものである。

これまで、高エネルギー大加速器は米欧及びソの独占する所であつたが、ついにアジアの一角にも大型陽子シンクロトロンが建設され、高エネルギー実験研究に本格的に参加することになるのである。我々は高エネルギー物理実験への日本の登場を心から歓迎し、日本の活躍を期待したい。これまで長い間アメリカは、高エネルギー物理学に大きな貢献をつとけ、世界の高エネルギー物理学をリードしてきたが、日本の新たな進出によってこの学問分野におけるアメリカの輝かしい優位がくずれるとは少しも考えられない。それは、アメリカが日本の〇〇GeV

シンクロトロンよりも先に Weston の 200Gev 加速器を完成させるであろうことから明らかである。しかし、日本の新たな進出及び最近特に著しい西欧とソ連の高エネルギー活動——建設作業に驚く程の進歩を見せている CERN と Novosibirsk の colliding beam machine はことさらに引用される価値がある——に鑑み、アメリカでもすでに propose されている若干の大型 colliding beam machine と SLAC* の線型加速器の 100 Gev への改造計画とが速かに連邦政府によって承認されることを要望してみたい。

× × ×

196×年 晩秋のある日、筑波の現場にて

(一見学者の手記より)

いろいろと物議をかもした「素研」もようやく軌道に乗り、筑波の現地では盛大に建設工事が進められている。陽子シンクロトロンの為の現場では、今多数のパワーシャベルが円形に大きな溝を掘っており、ダンプカーが縦横にかけめぐって大ダム工事を思わせる。溝は巾も深さも約 10m もあって、円の直径は 400m もある。

予定された敷地は、この大きな円を含めて 1km×2km もある。むこうに筑波山が見え、あたり一帯はまばらに農家が見える。(この敷地の中には農家が一軒しかなかったという。)今の日本でこんな土地の得られたことは幸運という他はないが、地質学的に見ると理想的というわけにはゆかないとの事だ。ここに極めて高い精度を要求される精密器械、即ち陽子シンクロトロン、を据え付ける為には多くの考慮が必要であるという。それに附属した種々の装置や大実験室、研究棟、管理棟、サービス工場(金工・工作・回路・低温など)、図書館、講堂、食堂、などを揃えてゆくのである。この建設作業を時間的・経済的に無駄なく進めてゆくのは相当な大事業である。

筑波研究学園都市の建設が予定より少し遅れている為に、素研の首脳陣は、研究所の建設だけでなく、ここで働く人員の住居や輸送等々のこと迄もかなり手を配ることを余儀なくされている。5年後に陽子シンクロトロンが完成すれば、総人員が1000人にも達しようというの

* 長さが2マイルもある20Gevの電子線型加速器で、Stanford 大学所属の Stanford Linear Accelerator Center (研究所の名前)にある。

である。既に現在、土木建築関係の人員のみならず、研究者・技術者・事務官が現地に住みついており、月と共に急増している。加速器の各部分や附帯設備などの製作に関係した会社の人々もここに多く出向して来ている。これらの人員及びその家族の為の宿舎、輸送、生活物資の供給の問題、研究所内での食事・救急医療等々、かなり先を見越して計画がたててある様だ。そして又賢明にもこうした事に有能な事務スタッフを揃えて、今の日本の役所機構の中では珍しいほど flexible な活動が可能にしてある。それでもこういう精密実験用の、しかもこんなにも巨大な規模の研究所を作ることは全く新しい大事業であり、大変なことだ。

ここでは、やることは山ほどあって、首脳陣は目のまわるような忙しさだ。けれども、何にもまして総てに先手を読むことが全体の作業を能率的に摩擦少く進める上に重要なこととされている。首脳陣はできる限り週に3度30分間の“お茶”に集り、テキパキと意見や情報を交換し今後の手順の打合せをしているそうだ。

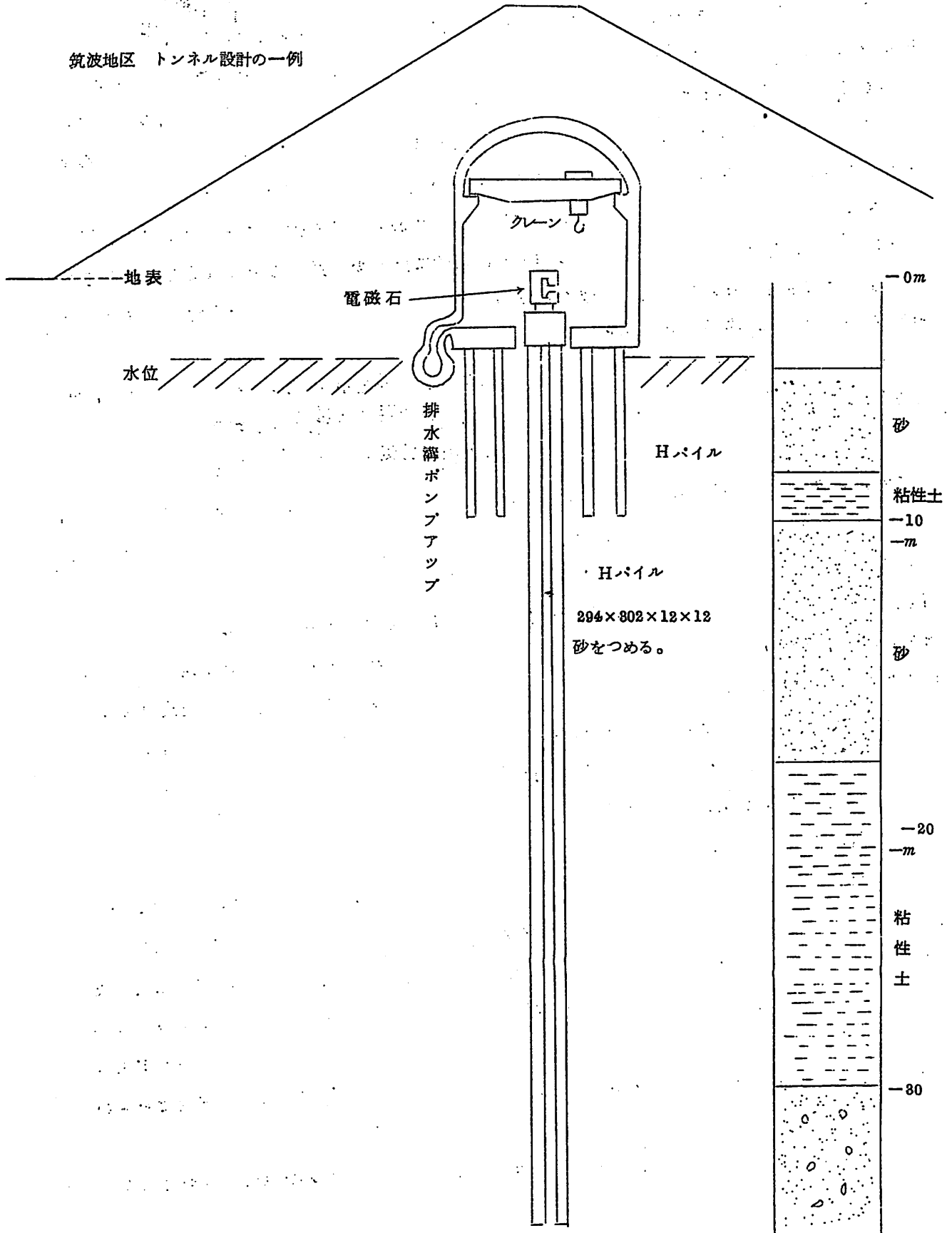
スタッフの一人は云う、“実に大変な仕事ではある。随分先手を読んでいるつもりでも、毎日何かしら事が起る。しかし(精神的に)苦しかった長い準備期間が終って本当に素研の建設が始った今は、どんなに仕事がつらくても気分は爽快で勇気がわいてくる”と。

さて、筑波の地盤はCERNのものに概ね似ていて、それより 良いといった所であるから、陽子シンクロトロンを据えるのにBNLよりもCERNの方式に近いものになる。即ち長さ数10メートルの鉄の柱を何百本も地下にうちこみ、それにシンクロトロン用の256個の電磁石(長さ約8mで12キロガウスまでの磁場を出せる)と陽子ビームをとじこめるドーナツ(断面は75cm×17cm)を支えさせるのである(磁石の総重量は鉄4410トン及び銅340トン)(図31)。こうして関東大震災クラスの地震に耐え得るようにするのだ(大地震後ほんの少し調整すればよいようにする。また地震がなくても、長年にわたって局所的に電磁石の若干の移動が起り得るので、それも必要とあれば調整出来るようにしてある)。電磁石は半径約200mの円周上にならぶことになる。

やがて筑波の現場では、この鉄の柱のうちこみと、地下にうめるシンクロトロンのトンネル(内のりで高さ68m、巾6m)づくりをはじめ。今あちこちに土の山が出来ていて、降り出した土の総量は数10万立方メートルにも達する。トンネルの中では、鉄の柱の上に磁石がのるのだが、トンネルのコンクリートの壁はこの鉄の柱とは無関係に地面の上に乗ることになる。数年後このトンネルの中に加速器の各部品が運びこまれると、トンネルは、7m以上の地下に完全に“埋”まってしまう。そのときには今見られる土の山はすっかりシールド用に活用されて直径400mのドーナツ型の土手になる。そしてその上は美しい緑の芝生でおとられる筈だ。

1964年以来行われた「素研」準備研究において、シンクロトロン用電磁石の原寸大のモ

筑波地区 トンネル設計の一例



デルがいくつか作られた。何しろシンクロトロンには電磁石が256個も使われるので、いくつかの会社が試作にあたった。それは磁石の性能をみるだけでなく、同時に経済的に性能のよい磁石を大量生産する方法を研究し、その工程を決定するためでもあった。その結果、CERNやBNLのシンクロトロン用磁石よりずっとよいものが国産で出来る事がわかったのは実にうれしい。(これだけは仮想ではなく、現実の話である)。昨日きいたのだがアメリカの200 GeV用の電磁石製作を日本の〇〇会社にseriousに問合せてきたという。その〇〇会社では、現在、電磁石の量産が盛大に進行している。今年度中にトンネルが出来れば、来年から電磁石が、こゝにはこびこまれて、次々にテストを受け、2年先には電磁石がトンネル内に配置されはじめるだろう。

トンネル工事現場に隣接して150m×50mの大実験室(20 tons/m²の荷重に耐える床を持ち、40トンのクレーンが備えつけられる)のための基礎工事が始まっていて年内に完成する筈だ。これができ上がらないとシンクロトロン用の電磁石を置く場所もないし、又その他の加速器の各Componentをおいたり、それらを研究しテストするところもないことになる。更に大実験室の一部は、しばらくの間工作機械をおいてサービス工場としても活躍するそうだ。尤もこれはこゝ数年間の仮の処置で、シンクロトロンが完成すれば、加速器をつかう高エネルギーの実験室としての本来の役目にもどるのである。又ほんの一部だそうだが、シンクロトロンのトンネルの近くに研究棟、管理棟の建設が夜を日についで急がれている。今は、しかし、多くの人たちはあちらこちらに散らばる沢山の“バラック”を仮りのオフィスにして一生懸命働いている。

ひろい研究所の構内の西南の隅にコンクリートの5階建の建物がある。それはもてこの構内の一部を占めていたゴルフ場のクラブハウスだった。今では1階が事務室になっていて、人声、電話のベルなどで全くやかましい。二階はofficeや食堂につかわれている。三階から上は小さざっぱりしたホテルのような個室が20ばかりあって宿泊用につかわれている。こゝいらは広大で閑散とした田舎なので、このクラブハウスがあったというのは全くもって好運だったといえるのではなからうか。

地震の多い日本では、二昔前精密(CERNでは半径100mの円周上に0.1mmの精度で電磁石を据えてきた)を要する陽子シンクロトロンはつくれないとさえ思われた。一昔前実際にシンクロトロンが出来てみると、その性能は予想以上によく、CERNで課し(実現し)た精度は少し神経質すぎたことが判った。電磁石などを幾何学的にalignする技術も確立されているし、外国では200~300 GeVの大加速器も確実にalignできることが判明したから、地震国日本でも安心してこの陽子シンクロトロン建設が出来る。技術の進歩は偉大であった。さらにアメリカヤソ連ではcybernetic accelerator (computer controlled acce-

erator ともいう)を開発している。それは重い磁石を力学的に動かして align し直すという面倒を省いて、少しばかりいびつな磁石配置がどこかに生じても、陽子が終局のエネルギーまで無駄なく加速されるように、磁石(及び補正コイル)を励起する電流・電圧を計算機で制御するという方式である。この技術はやがてこの陽子シンクロトロンにもとり入れられると聞いた。

クラブハウスの中の食堂で、素研のスタッフと昼食をともにし、昔つらかったこと、今どんなに忙かしいかを詳しく聞いて時のたつのを忘れる。

今日の素研の現場は、建設作業の真最中で、研究所らしさは余り見られない。

あと1~2年たつて建設が進めば、もっと研究所らしくなることだろう。少したつてから、どんなに変ったかを見に来るのが楽しみである(完成予想図は図3.3に示した)。

まだラッシュアワーには間がある。この時間では残念ながら、バスの便があまりよくないので、研究所の車で土浦駅(常盤線)まで送ってもらうことにした。途中、東京・筑波間の高速道路の工事が見える。来年こゝを訪れるときには、東京から素研まで自動車でも1時間位で来れるようになるだろう。

× × ×

参考までにCERNにおける陽子シンクロトロン建設過程(表3.1)と素研のそれ(表3.2)とをこゝに掲げた。

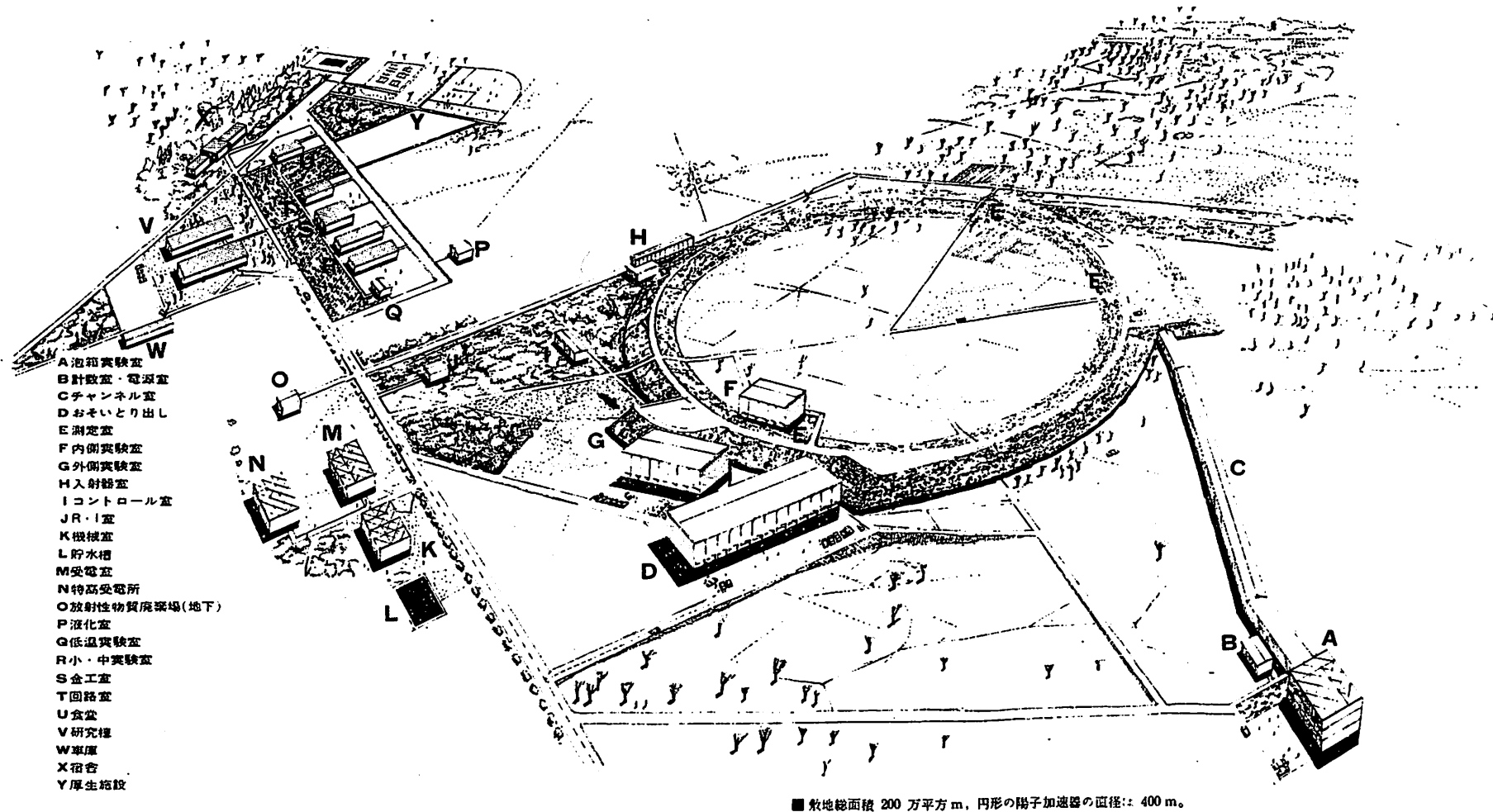


図 3-2 素粒子研究所の完成予想図

表 3.1

陽子シンクロトロン建設を中心としたCERNの主な経過

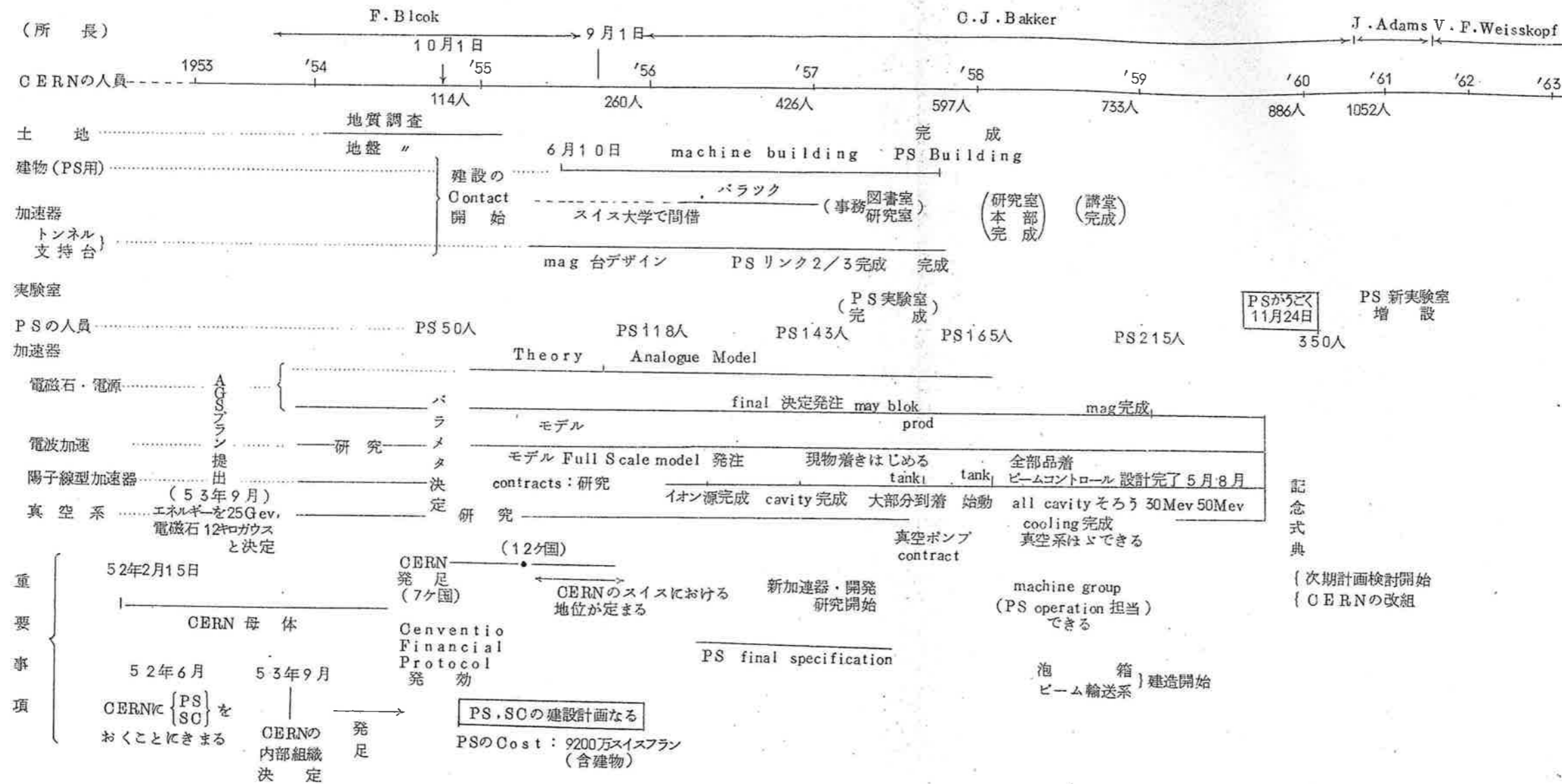


表 3.2

素研の建設年次計画

昭和39年から大型加速器の建設に伴う基礎研究が、昭和42年度には準備研究が東京大学原子核研究所の特別事業として認められ、以来原子核研究所、各大学の研究者が中心となって本計画を具体化するための幾つかの重要な問題に関して活発な調査研究が行われて来た。すでにその作業も終りに近づいている。これらの調査研究の成果を生かし、最も有効に本計画を実現させるには昭和43年度に本研究所設立を決定して建設作業を開始し、予定通り昭和47年度に建設を完了することである。

以上の方針に従った建設の主要部分の年次計画を以下に表示する。

素研建設年次計画

(1) 加速器	初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
軌道解析及びビーム制御					
軌道計算	加速器設計		ビームダイナミックス		
ビーム検出装置	予備研究	モデル実験	製作	設置調整	
入射系	予備研究	設計		試験	
速いビーム取り出し	モデル実験	設計	製作	試験	設置調整
遅いビーム取り出し	モデル実験	製作		試験	設置調整
ターゲット遠隔操作	基礎研究	設計	製作	試験	設置調整
軌道補正用装置		基礎研究	設計	製作	試験

	初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
電磁石及び電源					
主電磁石	モデルテスト	製	作		
	設計		磁場測定	測定	
	材料準備		設置	調整	
コリンズQ電磁石	設計	製	作		
			設置	調整	
補正用電磁石	実物大モデル	設計	製作		
				設置	調整
主電磁石電源	モデルテスト	設計	製作		
機械的測定及び 磁場測定準備		準備			
磁石据付測量及び 位置調整設備	準備	準備	設置		
			位置調整設備		
入射器					
イオン源	モデルテスト				
	設計	製	作	テスト	改良
前段加速器	設計		二号機製作		テスト
	製	作	テスト	ビームテスト	
加速空洞	モデルテスト				
	第一タンク設計	第一タンク製作設置	第二タンクテスト	改良	設置
		第二タンク以下設計	第二タンク以下製作		
R. F. 系	モデルテスト				
	設計		製	作	調整
集束磁石				設置	
	モデルテスト	第一タンク製作	第二タンク以下製作		
コントロール系	設計	設計	改良		
	基本設計	設計			
真空冷却	基本設計	設計			
	試	作	第一タンク	第二タンク以下製作	調整
ビームトランス ポートバンチャ-	基本設計	設計	製作		設置調整
	設計	製	作	テスト	設置

	初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
高周波加速					
フェライト	製		作		
加速空洞及び 附属回路	開発				
	量産化モデル	実験		設置調整	
大電力高周波 発振器	量産化モデル	実験		設置調整	
		本設計	製	作	
高周波制御系	モデルテスト	量産化モデル	実験	製作	
			設計		調整
真空・冷却					
真空ポンプ配管	基礎実験	設計	製	作	
				設置調整	
真空コントロール	基礎実験	方針	設計	配線組立	調整
ドーナツ管	基礎実験	設計	製	作	設置テスト
	試作				
直線部	検討	設計			
冷却系	基本方針	設計			
			製作	組立調整	
制御系					
総合コントロール	基本方針テスト	設計	製作	配線	
					調整
各部コントロール	モデル・テスト		製作		
	設計			配線調整	

(2) 測定器	初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
ビームトランスポート					
直流磁石系	設計開発		製作調整		運転
パルス磁石	設計	開発	製作調整		運転
静電粒子分離装置	設計開発		製作調整		運転
高周波粒子分離装置	設計	開発	製作調整		運転
ターゲット(含遠隔操作)	設計	開発	製作調整	運転	
真空系		設計	製作調整		運転
遮蔽物質		設計	製作		
運搬具	設計開発		製作		
超電導磁石	設計		開発	製作調整	
泡箱					
小型(75cm)					
本体					
冷凍系	運転調整				
制禦系	製作	運転調整	総合試験	運転	
光学系	製作	試験		(電子シンクロトロンビーム利用)	
磁石系(超電導磁石)	設計	製作	試験		
大型					
膨脹系	設計, モデル試験		製作	試験	
本体	設計		製作	試験	
光学系	設計, モデルテスト		製作試験		
冷凍系(水素・ヘリウム)		設計	製作	試験	
磁石系		モデルテスト, 設計	製作	試験	
制禦計装			設計	製作調整	
データ処理					
粒子飛跡投影装置	(2台)	(3台) 製作	(4台)	(5台)	(5台)
粒子飛跡測定装置	(2台)	(2台) 製作	(3台)	(4台)	(4台)
粒子飛跡自動解析装置 試作研究		試	作	研	究

試験
→

	初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
粒子飛跡自動解析装置		製作	(1台)	製作	(1台)
データ処理制御装置 試作研究		試作研	究		
データ処理制御装置			製作(1台)	製作(1台)	製作(1台)
データ処理計算機	設置(1台)		設置(1台)	設置(1台)	
エレクトロニクスカウンター					
デジタル・エレクトロニクス		開発と漸次製作を行う			
高速エレクトロニクス		開発と漸次製作を行う			
カウンター類		開発と漸次製作を行う			
(3) 物理実験	初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
(1) 物理実験研究		漸次物理実験を行う			
(2) 大加速器による 実験研究		漸次準備研究を行う		本格的準備を行う	
(3) 外国の加速器に よる実験研究		漸次実験研究を行う			
(4) 開発実験	初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
(1) 新しい原理を用いた 加速器の研究		漸次開発研究を行う			
(2) 加速器材料の研究		漸次開発研究を行う			
(3) 新しい原理を用いた 測定器の研究		漸次開発研究を行う			
(4) 偏極の技術の研究		漸次開発研究を行う			
(5) 計算機	初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
中型(賃借)	契約		設置	使用	
大型()				調査,機種決定,契約	

(6) 放射線及安全対策	初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
(1) 放射線遮蔽及対策	設	計			
(2) 放射化分析	準備	実験			
RI設備	小型分析室		設置		
(3) 放射線管理				設備	運転
モニター設備				管理方式の検討と決定	
(4) 安全管理					
(7) 低温・物性	初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
(1) 低温・物性					
各種超電導磁石	開発及び漸次製作整備を行う				
極低温発生装置					
超電導RFキャビテター					
(2) 低温設備	調査	漸次	整備		
(8) 共通設備	初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
(1) 金属工作	設計	諸工作機械漸次整備			
工作設備					
(2) 回路工作	設計	諸器械漸次整備			
回路工作設備					
(3) 基本測定器	漸次	整備	備		
(4) 車両	漸次	整備	備		

(9) 土木建築施設	初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
地質調査	ボーリングその他				
トンネル	設計	建設			
入射器建物	設計	建設			
大実験室 コントロール室等	設計	建設	建設		
研究管理棟	設計	一部建設	建設	建設	
工作・中小実験室					
宿舍	建設	建設			
道路整地	建設	建設	施工		
受配電	仮受電又は自家発電	主	工事		
水道排水	設計	一部整備			
臨時実験室	建設		主	工事	

4 素研の陽子シンクロトロンとその周辺施設

4 素研の陽子シンクロトロンとその周辺施設

自動車完全に整備されていれば、機械のことを知らなくてもドライブを楽しめる。

アメリカやヨーロッパはそういう状態にある。

この事情と全く同じだというわけではないが、加速器・測定器などの機械に弱い理論家にも、自動車のドライブになぞらえて、シンクロトロンの働きや使い方、出来のよしあし等をあげつらうことが許されよう。それが以下の内容である。

素研の陽子シンクロトロンは40GeVの陽子ビームをつくり出す加速器である。その性能は表4.1に示した通りである。

陽子が加速される順を追って、シンクロトロンの各部分についての説明をしよう。

表 4.1 (a) 素研の陽子シンクロトロンの設計の概要

最大エネルギー	40 GeV	
期待される陽子の強度	0.1 μ A	
最大磁場	12 KG (キロガウス)	
軌道半径	120 m	
平均軌道半径 (直線部が入る為大きくなる)	202 m	
1まわりに入るベータートロン振動数	10.25	
長い直線部の数と長さ	8個, 11 m	
電磁石の数と全重量	256個, 5000トン	
磁極の中心間隙と幅	8.5 cm, 33 cm	
くりかえし (加速された陽子のパルスでの割合)	2秒に1回	
入射用陽子線型加速器のエネルギー	125 Mev	
電波加速空洞の	周波数	4.0~8.5 Mc
	電圧	21Kv
	数	20個

表4-1(b) 素研の陽子シンクロトロン特性 (a) を
更にくわしくかいたもの)

NAME OF MACHINE 42-GeV Proton Synchrotron
INSTITUTION (site selection under way)
LOCATION Japan DATE June 1967

PERSON IN CHARGE S. Suwa
DATA SUPPLIED BY S. Suwa (INS, University of Tokyo)

HISTORY AND STATUS

DESIGN (date) Aug. 1964 (started) MODE TESTS September 1965
ENGINEERING DESIGN (date) _____
CONSTRUCTION STARTED (date) January 1969 (planned)
FIRST BEAM OBTAINED, OR GOAL (date) March 1970
LATEST MAJOR ALTERATION (date) _____
SCHEDULED OPERATION (hrs/wk) _____
"ON BEAM" % OF SCHEDULED TIME _____
TIME DISTRIBUTION, in house _____, outside users _____
COST, ACCELERATOR ONLY \$55 M est.
TOTAL COST OF FACILITY \$85 M est.
FUNDED BY Japanese Government (See note below.)

ACCELERATOR STAFF, DEVELOPMENT AND OPERATION

SCIENTISTS and ENGINEERS 21 (present)
TECHNICIANS 11 CRAFTS 1
ADMIN. & CLERICAL 10 TOTAL _____
GRADUATE STUDENTS involved during year _____
ANNUAL OPERATION BUDGET \$14 M

RELATED RESEARCH STAFF (NOT INCLUDED ABOVE)

USER GROUPS, in house _____ outside _____
STAFF SCIENTISTS, in house 4 outside 3
TOTAL RES. STAFF, in house _____ outside _____
GRADUATE STUDENTS involved during year _____
ANNUAL RESEARCH BUDGET, in house _____

INJECTOR SYSTEM

TYPE linac
OUTPUT, max 100 mA, at 125 MeV
BEAM EMITTANCE 8π mm-mrad
INJECTION PERIOD 50 μsec, or _____ turns
INFLECTOR TYPE electrostatic

ACCELERATION SYSTEM

HARMONIC no. 36 CAVITIES 20
RF RANGE 4.0 to 8.5 MHz
ORBIT FREQ. RANGE 0.111 to 0.237 Mc/s
ENERGY GAIN 213 keV/turn; RAD. LOSS, max --- keV/turn
RF POWER INPUT (kW) peak 240 mean 120

MAGNET SYSTEM

FOCUSING TYPE AG FIELD INDEX, n - 406.7
MAGNET UNITS 256, LENGTH, each 2.7 to 3.03 m
STRAIGHT SECT. (long) 8, TOTAL LENGTH 87.9 m
FOCUSING ORDER: FOFOODOO F'OF'OD'OD'O
BETATRON OSC. FREQ. ν_1 10.25 ν_2 10.27
FIELD, or inj. 139 G; at max 12 kG
RISE TIME 1.0 sec; FLAT-TOP TIME 0.50 sec
MAG. WEIGHT, (tons) Fe 4410 Cu 340
POWER INPUT (MW) peak 40 mean 5.2

OTHER NOTABLE FEATURES OF MACHINE

PHYSICAL DIMENSIONS

RING dia. 400 m; TUNNEL sec. (hwx) 6.8 × 6.0 m
MAGNET sec. 0.97 × 0.85 m, MAG. GAP 8.5 × 33 cm
"DONUT" sec. 7.5 × 17 cm, APERTURE 7.5 × 16 cm

PERFORMANCE

	GOALS	ACHIEVED
ENERGY (GeV) protons	<u>42</u>	_____
RESOLUTION ΔE/E (%)	_____	_____
REPETITION RATE (pulses/sec)	<u>0.5</u>	_____
PULSE WIDTH	_____	_____
DUTY FACTOR, macroscopic (%)	_____	_____
INTERNAL BEAM (part./pulse)	<u>1 × 10¹²</u>	_____
(part./sec)	_____	_____
CURRENT (μA)	_____	_____
BEAM EMITTANCE (mm-mrad)	<u>85 × 10¹²</u>	_____

SOME TYPICAL EXTERNAL AND SECONDARY BEAMS

PARTICLE	FLUX (part./sec)	BEAM AREA (cm ²)	ENERGY (GeV)	ΔE/E (%)
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____

FACILITIES FOR RESEARCH PROGRAMS

SHIELDED ROOMS _____, TOTAL AREA _____ m²
BEAM LINES TO _____ STATIONS _____
STATIONS SERVED AT THE SAME TIME, max _____
BEAM SEPARATORS _____ SPECTROMETERS _____
ON-LINE COMPUTER WITH _____ INPUTS _____
BUBBLE CHAMBERS, in-house _____ users' _____
TOTAL POWER INSTALLED FOR RESEARCH _____ MW

PUBLISHED ARTICLES DESCRIBING MACHINE, SELECTED

Note: This proposed synchrotron is not yet authorized for construction; however, \$1.4 M is funded for design work this year.

表4-1(c) 素研の陽子シンクロトロンの入射器

INJECTOR FOR <u>Tokyo 42-GeV Project</u>		DATE <u>June 1967</u>	
INSTITUTION <u>University of Tokyo</u>			
LOCATION <u>Japan</u>			
IN OPERATION SINCE _____		PERFORMANCE	
DATA SUPPLIED BY <u>Tetsuji Nishikawa</u>		GOAL	
ION SOURCE		ACHIEVED	
TYPE <u>modified duoplasmatron</u>		OUTPUT ENERGY (MeV) <u>125</u>	
OUTPUT, max, <u>500</u> mA, at <u>40</u> keV		ENERGY SPREAD $\Delta E/E(\%)$ <u>0.3</u>	
BEAM EMITTANCE _____ mm-mrad		CURRENT, max (mA) <u>100</u>	
		BEAM EMITTANCE, mm-mrad <u>8π</u>	
INJECTOR		ACCELERATION SYSTEM	
TYPE <u>Cockcroft-Walton</u>		RF <u>201.25</u> MHz; FIELD MODE <u>TM-010</u> ; Q <u>$\sim 50,000$</u>	
OUTPUT, max, <u>300</u> mA, at <u>750</u> keV		EQUILIB. PHASE <u>25</u> °; ACCEL RATE <u>~ 1.5</u> MeV/m	
BEAM EMITTANCE <u>250π</u> mm-mrad		DUTY FACTOR <u>0.04</u> %; PULSE LENGTH <u>100</u> μ sec	
		SHUNT RESIST. <u>20 ~ 50</u> Ω/m ; FILLING TIME <u>300</u> μ sec	
BUNCHER		RF POWER INPUT (kW) <u>20,000</u> peak, <u>8</u> mean	
TYPE <u>single</u>		PHYSICAL DIMENSIONS	
POTENTIAL <u>20</u> kV; DRIFT LENGTH <u>200</u> cm		TANK(s) <u>5</u> , TOTAL LENGTH <u>90</u> m	
FOCUSING SYSTEM		DRIFT TUBES <u>209</u> ; TANK dia <u>0.94 ~ 0.85</u> m	
QUADRUPOLES <u>~ 150</u> ; FOCUSING ORDER <u>FFDD</u>		TUBE length <u>4.9</u> to <u>42.4</u> cm	
GRADIENTS <u>7</u> to <u>1</u> kG/cm		TUBE dia <u>18</u> to <u>16</u> cm	
OTHER _____		GAP/CELL LENGTH <u>0.206</u> to <u>0.408</u>	
		APERTURE <u>2</u> to <u>4</u> cm	
OTHER NOTABLE FEATURES		SELECTED DESCRIPTIVE REFERENCES	

入 射 器

まずイオン源(デュオプラズマトロンというもの)で40 Kev の陽子ビームを発生させる。次に低エネルギー核物理学でおなじみの Cockcroft-Walton 型の予備加速器で750 Kev まで陽子ビームのエネルギーをあげる。そして(バンチャーと名付けられる空洞共振器を通した後), 陽子ビームは5つの部分よりなり全長90mの(Alvarez型)線型加速器の中を通過して125Mev のエネルギーに達するのである。数Mev 以上の電子は事実上光速に達しているのに、電子の線型加速器では、全く同じ加速装置を直線上に等間隔にならべて同じ周波数のマイクロ波をかけてやれば、電子を加速することができる。(マイクロ波の中の電場にくまなく“波のり”をした電子の集団が一定間隔をおいて加速されてゆく。)しかし陽子のエネルギーが、750 Kev から125Mev まで上昇するとき、その速度は光速の0.040 倍から0.506 倍迄変化する。陽子用線型加速器では、このような陽子の速度変化にマッチしながらマイクロ波で陽子を加速(RF 加速という)してやらねばならず、それだけ電子用のものより技術的にも構造的にもはるかに複雑で面倒なものとなる。それでシンクロトロン¹⁾のあらゆる parts の中で線型加速器の製作は最も厄介で高価につき、そして長い年月

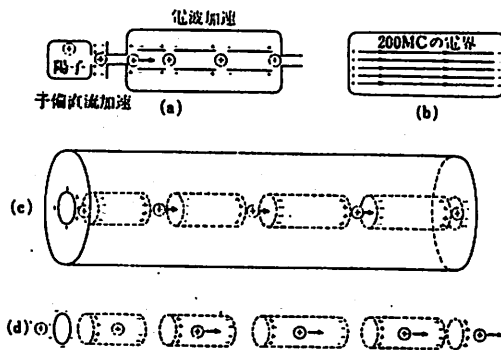


図4-1 陽子線型加速器

を必要とする。(シンクロトロンの建設期間は線型加速器のそれできまるといってよい。)従ってシンクロトロンを建設するのであれば、真先に線型加速器にとりくまなければならないということになる。素研の準備作業に於ても、イオン源 Cockcroft-Walton 型予備加速器は既に完成し、線型加速器の第一段階の製作が始まっているのは、この理由によるのである。

その上陽子シンクロトロンで得られる陽子ビームの強度は、線型加速器のビームできまってしまうのだから、益々もって線型加速器に力を入れざるを得ない。ついでに述べておくと、CERN や BNL の陽子シンクロトロン改造計画(強度増強計画)でも入射器(とくに線型加速器)の改良乃至は新鋭器とのとりかえに大金を投じている理由もこれで判ってもらえたであらう。

従って陽子シンクロトロンの新設・改造にあたってどこでも入射器の開発・改良に全力を投入する。現在の情勢は、入射器の技術発展が早くて面白い段階と見られ、事態は流動的なのである。例えば、I-15 でも述べたように、電子線型加速器のRF 加速空洞を極低温にし、空洞壁でのエネルギー損失を下げると共に加速される電子線の質^{*}をよく(して実験に使い易

* duty factor を向上させること。

いものと)する開発研究が進んでいる。このような技術を陽子線型加速器に応用する基礎研究も盛である。しかし開発完成を待っていたのでは、いつまでたっても陽子シンクロトロン建設ができないから、素研の計画では程々の所で思い切って、安定で確実に作動する(即ちいづらか保守的な設計の下に)線型加速器(energy 125 Mev, peak current 100mA, beam pulse は 100 μ sec)をまず作ることにしている。将来シンクロトロンの強度をあげるとき、ブースターなどを含めた入射器の大巾改良を試みることにしておこう。

電磁石 (図 4.2)

半径約 200 m の円周上に 256 個の磁石を並べると 3 のルポルタージュで述べたが、それは近似的な話である。実は、磁石をおかない長さ各 11 m の長い直線部分が 8 ケ所に設けられている(図 4.3)。そこは、入射器からの 125 Mev 陽子ビームの送りこみ口、加速された粒子線のとり出し口となり、また(加速される陽子をとじこめておく)リング内に標的をおき(内部標的という)、陽子ビームでそれをたたいて、発生する諸々の粒子ビームをとりだすなど、多くの用途にあてられる。実はこのような目的のために、CERN や BNL の兄弟分(その直線部分は約 3 m)に比べてはるかに長い直線部分をとるよう設計された訳で、これによって素研のシンクロトロンは現在稼働中のシンクロトロンよりはるかに実験に使いやすいものとなるはずである。

電磁石(図 4.2)は入射器からきた陽子ビームをリングの中にとじこめておくためのものである。そこで、陽子のエネルギーが小さい間は電磁石の磁場を弱く、陽子が加速されるにつれて磁場が強くなるようにしてある。即ち陽子はエネルギーの大小にかかわらずいつもリングの中の同じ場所をぐるぐるまわるのである。

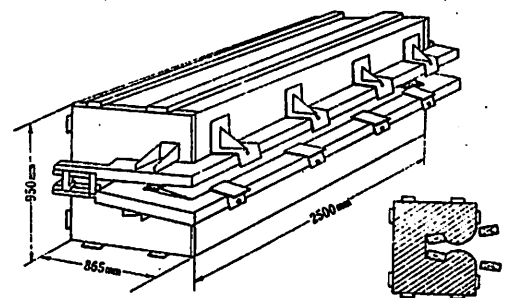


図 4-2 主電磁石

また電磁石励起用の電線としては、これまで銅を用いるのが常であったが、高純度のアルミニウムが代って登場してきた。とくにアルミニウムを冷やして大電流を通し、今迄銅線を使って達成されたものより、はるかに高い磁場をだせるようになっている。

超電導磁石の進歩は近年来頼にめざましいものがあるけれども、数秒毎に磁場の強さを 0 から極大まで変化を繰返させることは今尚困難である。従って素研としてはシンクロトロン用に超電導磁石を用いることなく、従来の電磁石を採用することにした。

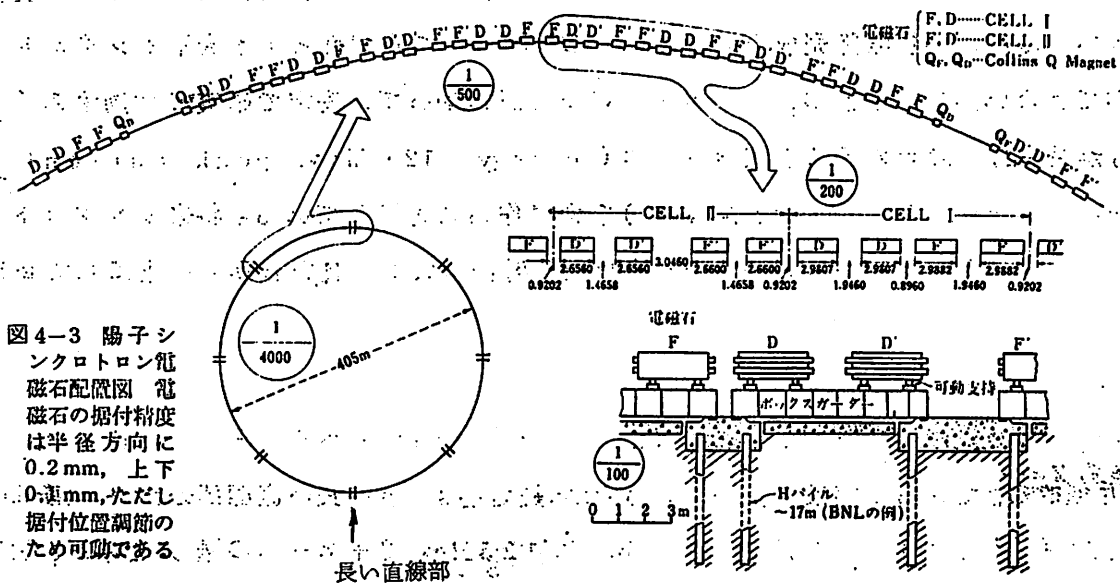
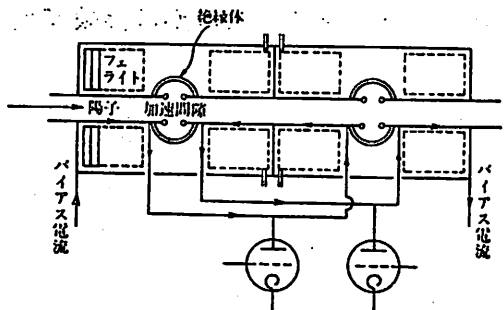


図4-3 陽子シンクロトロン電磁石配置図 電磁石の据付精度は半径方向に0.2mm, 上下0.2mm, ただし据付位置調節のため可動である。

電波加速空洞 (図4.4.)



電磁石の間の隙間の所々に、総計20ヶの電波加速空洞がおいである。入射器より入ってきた陽子ビームがこの空洞を通過する度に加速される。陽子はシンクロトロンを一周りする毎に213Kevづつエネルギーをもらうのである。かくしてシンクロトロンリングに送りこまれた陽子ビームは約20万回リングの中をまわって、約1秒の間に40GeV迄加速される。この短い間に陽子の走る距離

は地球から月までの距離の約1/3に達する。

加速空洞に強力な電波を送りこむのに、フェライトがいるのだが、フェライトもふくめて電波加速空洞の開発にこり出すときりが無い。これについても、大巾改善を将来に期し、确实安定な作動を旨として、割切った設計により製作することにしよう。

強収斂について

直ぐ上に述べたように、陽子を加速するのにシンクロトロンの中を20万回もまわさねばならぬ。その間陽子ビームがひろがって加速途上で脱落するようでは困るのである。その為には、陽子ビームをいつも収斂させ、ビーム強度が減ることなく最終エネルギー迄加速され

るようにしてやる必要がある。強収斂型^{*}シンクロトロンでは、電磁石がビームを設計された通りの軌道上にいつも乗るようにするばかりでなく、いつもビームを“しぼる”収斂レンズの役目も兼ねている。このようにして、強収斂型シンクロトロンのビームは断面積が極めて小さくなり、従って電磁石も小さくてすむのである。強収斂型でない旧式のシンクロトロン^オの電磁石はとてつもない重量がある——弱収斂のシンクロファゾトロン(Dubna 10 Gev)の電磁石用の鉄の重量は3^万6^千トン)と強収斂型のCERN陽子シンクロトロン(28 Gev, 電磁石の鉄の総量3千トン)を比べれば明々白々であろう。

CERNやBNLのシンクロトロンでは、陽子をまげるのと収斂レンズ作用とを同一磁石にやらせていたのだが、最近では、この両様の作用を別個の磁石にやらせるのが流行のようで、それをseparated function type^{*}と名づける。separated function typeの電磁石の方が、高エネルギーではシンクロトロンの性能を向上させるのに適している。

陽子ビームのとり出し

加速された陽子ビームは、先に述べたように、ドーナツ内に置かれた“内部標的”にあてて色々な実験に使うことがあるが、それは加速器完成直後の万事不備なときのやりくり算段であって、必ずしも望ましいことではない。このような実験の仕方では加速器のごく近くに実験装置を配置せねはならず、実験にとって好ましくない場所の制約がついてくる。次にもっと重大な事であるが、内部標的に(強力な)陽子ビームをあてると、標的より広範囲に放出される多様な粒子ビームによって、標的周辺の加速器各部分に次第に残留放射能が蓄積してくる。それは加速器にとっても、近傍の実験装置にとっても、或は更に加速器・実験装置に接近・接触することの多い保守・運転・修理要員や実験・技術関係者にとっても甚だ好ましくないことである。そういう理由で、加速した陽子ビームを(可能な限り効率よく——即ち、出来るだけ100%に近い効率で)加速器リング外にとり出したいというわけである。

シンクロトロンからの陽子ビームのとり出し(extraction)には二つの方式がある。一つは速いとり出し(fast extraction)で、陽子ビームがシンクロトロン内で予定のエネルギーに達すると直ちに外へとり出すのである。とり出しにはリングの中の陽子ビームに“瞬時的”に強い磁場をかけてやり、陽子が加速されるまで通ってきた軌道をふみ外すようにさせ、適当な箇所に設置された(磁場のかかった)とり出し口からビームを外へ導き出すという仕組である。(図4.5)

^{*}強収斂型に対して弱収斂型という。

^{*}東北大学の北垣氏が1953年に提案した。この方式は1.0数 Gev以上の高エネルギーシンクロトロンで economicalとなる。

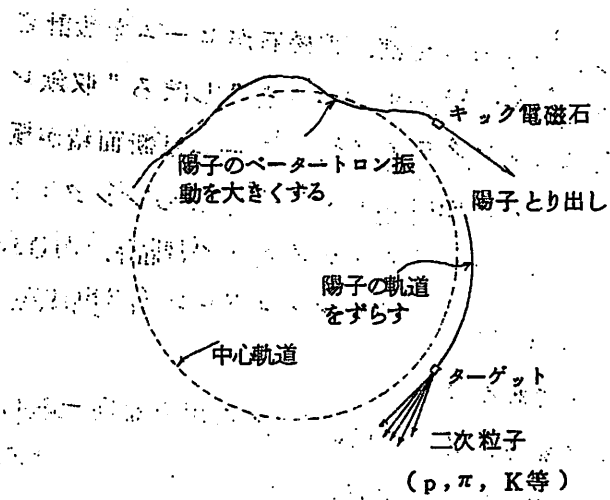
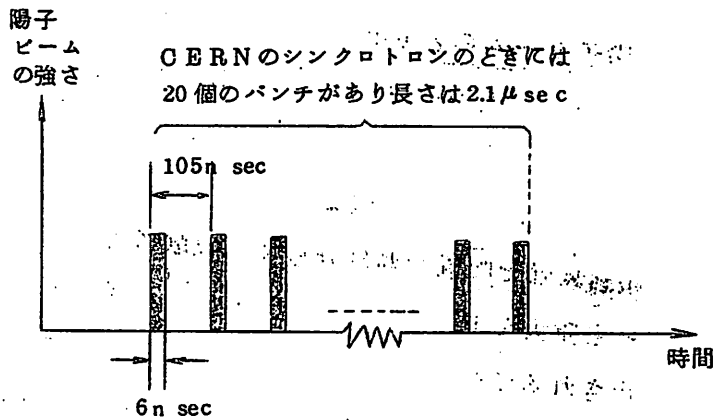
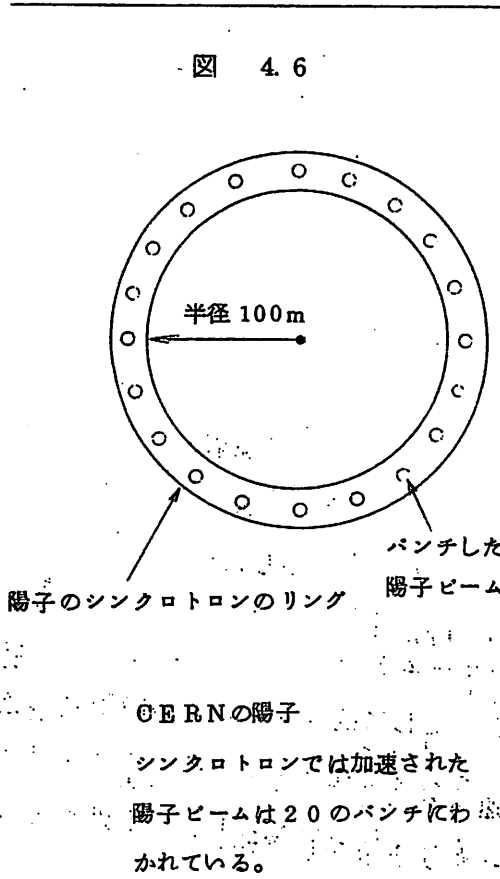


図 4.5 陽子ビームの速いとり出しと二次粒子の発生

陽子シンクロトロンでは、加速された陽子ビームは、電波加速のときうまく加速されたもののかたまり(バンチという)に分かれて軌道の上をまわる。いくつのバンチになるかはシンクロトロンの設計でできることで、CERNのシンクロトロンでは20個のバンチになってリングの中を廻っている(図4.6)*

近頃では、CERNの陽子シンクロトロンでの速いとり出しにおいて、20のバンチの中少なくとも19のバンチを確実に外へとり出している——即ち、はやいとり出しの効率は95%以上なのである。とり出された陽子ビームの時間的な構造は図4.7の通りである。

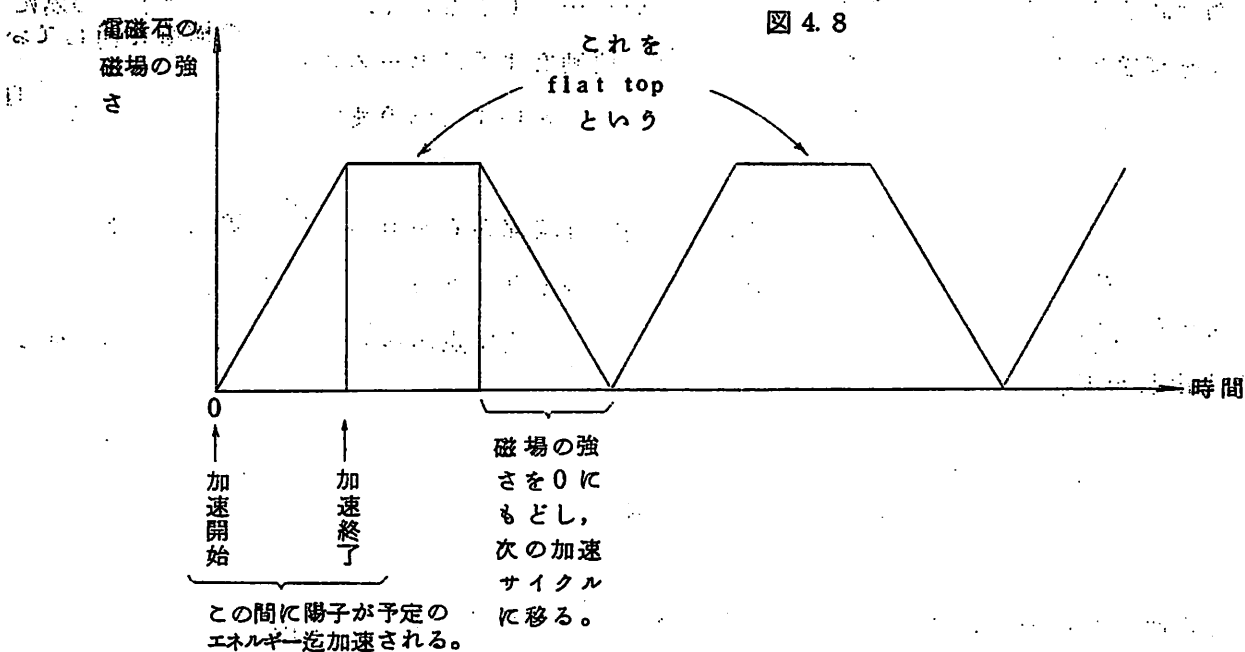


CERNのシンクロトロンより得られる25 GeV陽子ビームの構造を示す。この20のバンチからなる2.1μsecの長さのものが1つのパルスで、25 GeVでは2.3 sec毎に一つのパルスを出せる。

図 4.7

* 素研の陽子シンクロトロンでは36個のバンチよりなる。

もう一つの方式はおそいとり出し (slow ejection) と呼ばれる。この場合には、まず陽子をシンクロトロンで予定のエネルギーまで加速させ、加速終了と同時に磁場の強さを加速終了時の値に保っておくのである。(図 4.8)



このようにある時間に一定に保たれる磁場に対して flat top という名前がついている。CERN や BNL の陽子シンクロトロンでは flat top の (時間的) 長さを実験の要求に応じてきめることにしている。

このようなことをするのは、加速されてバンチに分れている陽子ビームが、時と共にひろがって (長い) flat top の間に、陽子はリング内に一様に分布するようになるからだ。かくしてバンチ構造のない陽子ビームがシンクロトロンのリング内にできてから、陽子ビームをとり出すのをおそい取り出しと云う。おそい取り出しで得られる陽子ビームの1つのパルスの (時間的な) 長さは必要に応じて変えることができるが、CERN や BNL の実験用に常用されているのは例えば 200 msec の長さのパルスである。おそい取り出しでも電磁石を巧みに駆使して実行される。CERN や BNL の現状ではおそい取り出しの効率は 80% の程度である。

高エネルギー実験にとって、研究対象とする現象を短時間の間にできるだけ多数測定できるように、陽子ビームの強度が大きいことが望ましい。しかし、図 4.7 に例示したような構造をもつビーム——即ち、ごく短い時間 (CERN の例では 6 n sec) 内に多数の粒子がかたまっており、バンチとバンチの間 (CERN の例では 99 n sec) は高エネルギー粒子が来ないという型のもの——は、(泡箱実験では障害にならないが) エレクトロニクス実験を行うのには甚だ都合が悪いのである。その理由は、1つのバンチの中にある多数の粒子*

*シンクロトロンで加速された陽子、又はそれを標的にあてて得られた二次粒子。後者にも前者のバンチ構造がひきつがれる。

が標的に衝突して生ずるいろいろな散乱・反応過程を調べるに当って、別個の粒子によって生じた独立の現実をエレクトロニクス実験によって時間的・空間的に識別するのが現状では多くの場合不可能乃至困難であることに由る——実験技術の進歩によりこの理由にもとづく制約は時とともに緩和されることであろうが……（ともかく、現在の所では）その為かわざわざ磁場に flat top をつくり、実験に便利なようにビームのパンチ構造を消しておき取り出しをするので、素研のシンクロトロンにおいてもいうまでもなく flat top の自由度があるように計画されている。

これらの“とり出し”の為に、前に述べた長い直線部分（を中心）に装置を配置するのである。CERNやBNLの陽子シンクロトロンの直線部分は3mの短かさであるので、そこにとり出しのための装置をはめこむのは大変に窮屈で不便な点が多かった（が、何とか両様のとり出しを実現させた）。

× × × × ×

その他にも陽子シンクロトロンに関しおのべるべき事は多い。真空系、制御系、電源、温湿調整、放射線遮蔽、等々の技術上のこと、又理論的には、位相安定、space charge limit、strong focusing 等の面白い諸問題……しかし、余りに長くなるので、それらについては「素研」の計画書とか然るべき専門の成書にゆづりたい。次に加速器の周辺施設を一めぐりしよう。

実験室

内部標的を用いる実験に対して実験室があるばかりでなく、とり出した陽子ビームを用いる実験のために広い実験室（群）又は実験用広場がある。とり出した陽子ビームはビーム輸送系を通して色々な所へ移し、多くの実験用に供すると共に、とり出し陽子ビームを更に標的（内部標的と区別する為、外部標的 external target という）にあてて二次線[π , K 中間子, ハイペロン, 中性諸粒子（中性子, 中性K粒子など）, 反重粒子, その他]を発生させ多くの実験の用に供するのである。現在ではとり出し陽子ビームを用いる実験が主力になっているので、実験室も非常に広大なものが必要となる。しかも実験室は1つだけでなく、必要に応じてシンクロトロンの直線部分の延長上に何ヶ所もの実験室が配置されたり、又陽子ビームの輸送系に沿って長く複数の実験室を配列したりする。

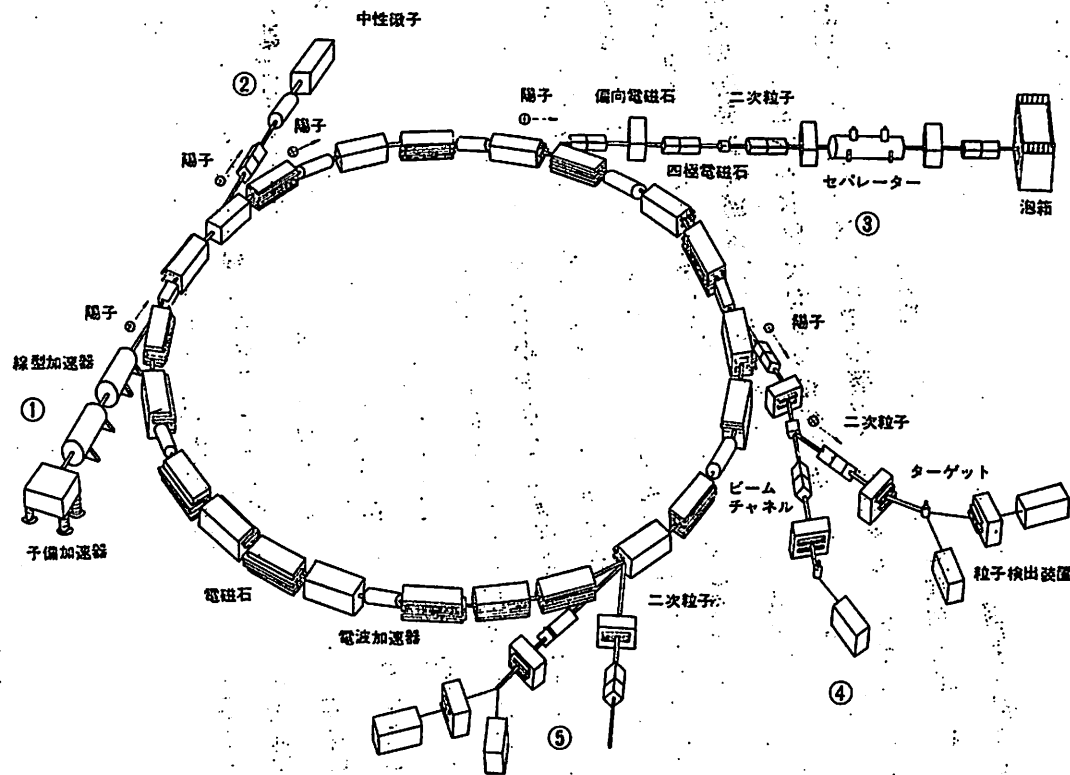


図4-9 陽子シンクロトロンと実験室の概念図

この図は陽子シンクロトロンのビームを利用する概念図である。①は入射器であり、②はとり出した陽子によって ν 、 μ などの三次粒子を利用する実験室である。③ではとり出した陽子によって泡箱の実験を、④ではカウンターの実験を行う、⑤は二次粒子を利用する場所である。

高エネルギーの電子学実験では、ビームを収斂させたり、粒子識別・運動量測定などのための各種電磁石をはじめとして、シールド用コンクリートに至るまで、重量物の運搬・移動が多い。実験室をつくるに当たって、床の強度、各種クレーン（60～100トン用のものまでいる）、配線・配管、給排水、空調、温度調整など注意を払うべきことが多々ある。

研究の種類に応じて実験装置の構成は多種多様であり、又時と共に精巧複雑になってゆく。シンクロトロンが完成し、その周辺設備（ビームとり出し装置、ビーム輸送系など）がととのい、ビーム強度が上昇するにつれて、益々多くの実験を同時（又は並列）に遂行し得るようになる。そこで実験室は、設計の時に、十二分の余裕を見込んで大きく広くつくったつもりであっても、たちどころに手狭になってしまふ。そこで次々に実験室を追加せねはならなくなるという訳である。最近では、建物（閉空間）としての実験室でなく、状況がゆるせば丈夫な床だけをつくった背空の実験場を設けるという案もでてきている。：放射線遮蔽のための土手や十分なコンクリートブロックが用意され、電力・給排水・通信（電話のみならず、測定器に直結した小型データ処理機と中央の大型電算機をむすぶケーブルなどを含める）などの必要なものをそろえておけば——設備のととのったキャンプ場を想像してほしい——実験場に随時バラック（必要ならその中だけで空気・温度・湿度調整をする）を作つて実験装置を入れたりできる。或は（遠くの）大学・研究所からvisiting teamがトレーラーの中に実験装置一式をつみこんで素研の実験広場にのりこみ要所々に配置された電線や配水等のコックにつなぐとすぐに実験を開始できる。Stanford大学にある長さ2 mileのelectron linacはこの型の実験用の大きな広場を持ち、そのまわりは小高い岡でかこまれている。

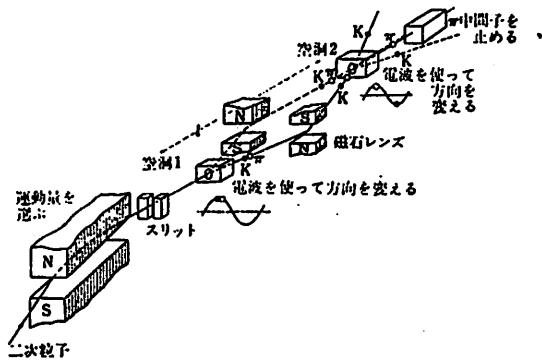
ビーム輸送系と粒子分離器

先にのべたようにシンクロトロンからとり出された陽子ビームは長い管の中を通して、実験装置の所まではこばれたり、又途中で標的にあてて発生した粒子線を各実験装置に供給するのである。BNLやCERNでは陽子ビームを数100 m（乃至それ以上）ひっぱり出している。陽子ビームがこの長い距離をロスなしに走るためには、真空又はヘリウムをつめた管の中を通すだけでなく、所々にビームをしぼるための収斂レンズ（実は電磁石）を配置してやらなければならない。

また陽子ビームを標的にあてて発生した二次線の中から特定の荷電粒子（ π^{\pm} , K^{\pm} , p など）をよりわけるのが粒子分離器である。それには低エネルギー用のものと高エネルギー用の二種類がある。

低エネルギー用のものは、DC型といい、まず磁場を通して均一の運動量*の(同符号の)荷電粒子ビームをとり出し、次につよい静電場をかけて質量の異なる粒子をよりわけるといふ方法である。高エネルギーになると、DC型のものでは、質量のちがいを区別するのに益々大きな電場がいるようになり、従ってこの方式が有効につかえるのは、せいぜい数Gev/C

図4-10 DC型粒子分離器



までである。

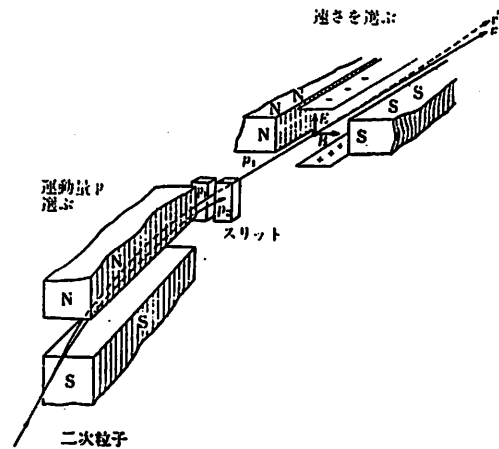
それより高い運動量になると、RF分離器が用いられる。これも前と同じく(同符号の)荷電粒子ビームからまづ磁場で均一な運動量のものだけえらび出し、ついで二段にわけてマイクロ波をかけてやるのである。ある質量のものだけがマイクロ波にうまく“波のり”してでてくるが、それとちがう質量のものはすべて“波のり”しそこねて落伍するという寸法である。このやり方で数10 Gev/CのK, \bar{p} 等をえらび出

すことができ、種々の実験、とくに泡箱実験用の入射ビームをつくるのに大きな偉力を発揮している。(OERNが作ってSerpukhovへもってゆくものの一つが、このRF粒子分離器であった(I-13)。

なお、素研の陽子シンクロトロン概念図とCERNの見取図(シンクロトロン, ISR, 実験室の位置)を参考のために示した(図4-12, 4-13)。

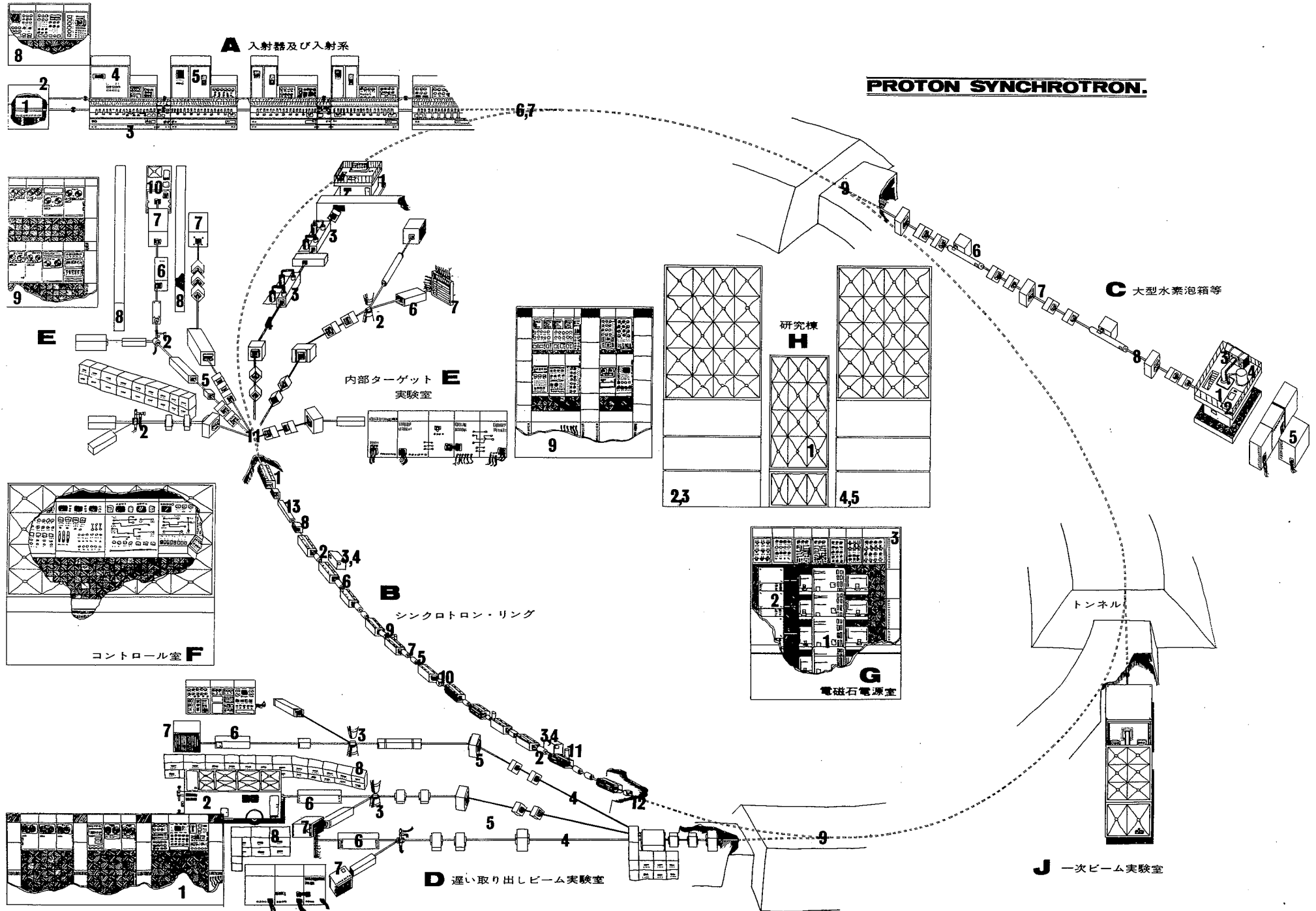
加速器の周辺施設についてもまだまだいふべきことが残っているが、一応ここで筆をおく。次に高エネルギー実験についてのおべておこう。

図4-11 RF粒子分離器



* 運動量が同じでも質量が違くと速度がちがってくる。

PROTON SYNCHROTRON.



A 入射器及び入射系

C 大型水素泡箱等

内部ターゲット
実験室 **E**

研究棟
H

B
シンクロトロン・リング

コントロール室 **F**

電磁石電源室 **G**

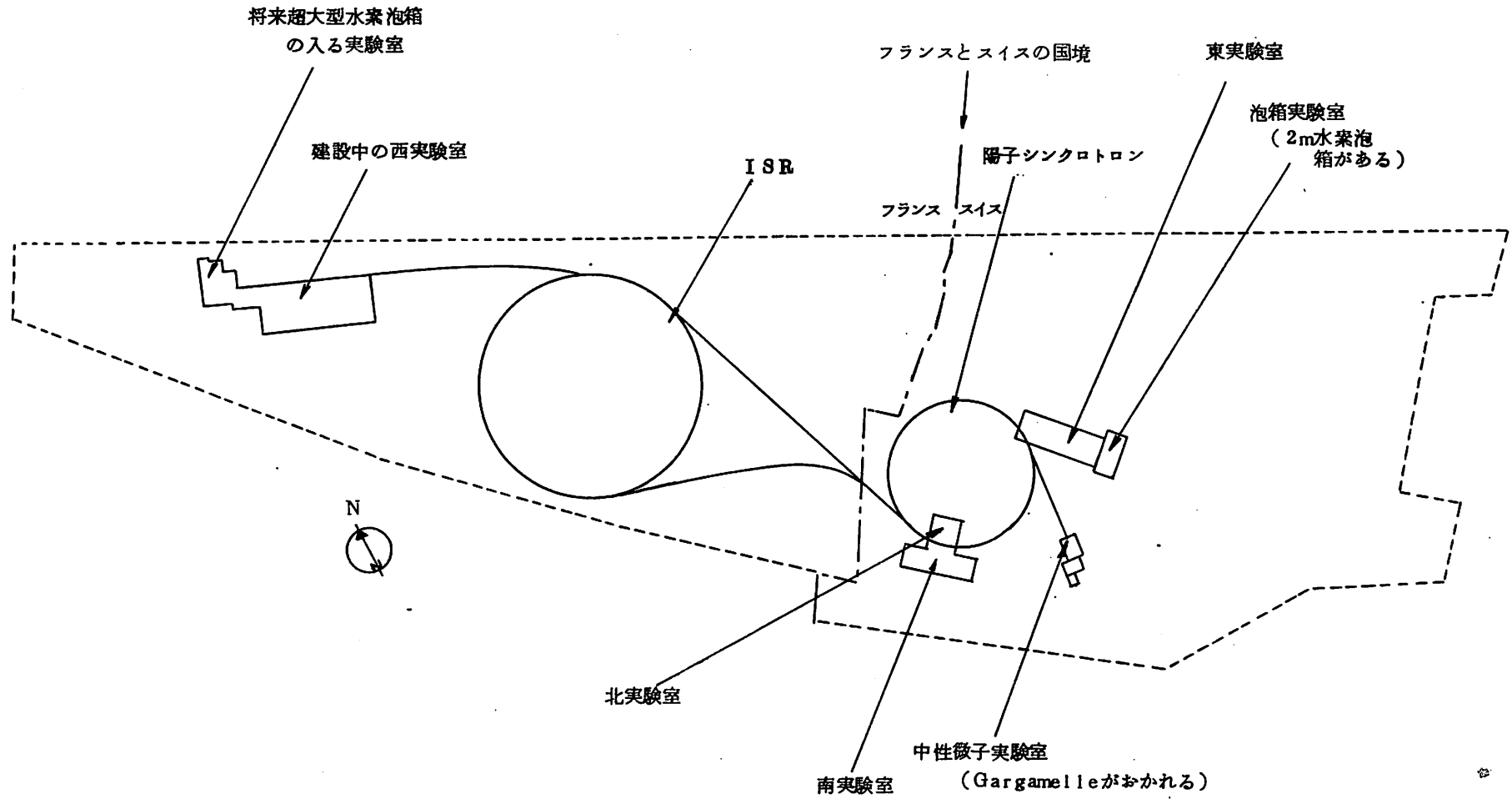
トンネル

D 遅い取り出しビーム実験室

J 一次ビーム実験室

図4-13 CERNの見取図

CERNの敷地は約80ヘクタールで、陽子シンクロトロン
の直径は200mである。



5 高エネルギー加速器を用いる実験

5. 高エネルギー加速器を用いる実験

前章において素研の陽子シンクロトロンとその周辺施設について、かなり詳しく述べた。それ等は、現在考えられる限りにおけるベストを尽して書いたものである。素研シンクロトロンの実際の建設作業は（若し近く開始できるとすれば）、今後の我々及び外国での関連諸技術の発展を採り入れるのでここに記したものよりはるかに改良されたものとなる。度々述べてきたように、大加速器の建設には長い年月がかかるし、安全性を見込んで、多少保守的であっても健全なシンクロトロンの設計をしなければならない。したがって若干改良を加味できる余地を残すにしても、大加速器の建設作業は、それよりずっと短期間にできる高エネルギーの多種多様な実験に比べれば、随分と rigid なものであると云えよう。

それに反して高エネルギー実験は（原理的には）自由奔放な冒険・探究を試み最大限に学問の自由を享受できるものである。そこでは関連で flexible な研究心の下に実験を企画遂行すべきである。高エネルギー実験物理学者の数は欧米のいづれに於ても近年頃に著しい増加を見せているが、不幸にも筆者の見る所では、真に物理的に有意義な（高エネルギー加速器を用いる）実験の数は実験研究者の総数に比して多かつたとは云い難い*。勿論その最大の理由は世界的にみて高エネルギー加速器数が加速器を利用する実験家の数に比べて絶対に不足していることに由る。次に（小さな）理由としては、世界の女性（或は男性？）を魅惑するミニスカートの如く、物理実験の世界にも流行の波があり、二番煎じの実験が後をたたないせいもある。このような現状は、日本の素研の相対的・世界的意義を高め、素研シンクロトロン完成後、我々の実験関係の同僚・後輩が活躍する余地が極めて多いという意味に於て、素研にとって幸なことである。

これは極めて峻烈な批判なのであって、外国の高エネルギー物理学実験が、例えば物理学の他の分野と比較してこのようであると云っているのではない。外国の高エネルギー物理等実験は、他の分野に比べての相対的な比較でいうならば、実によく成果をあげているといべきだろう。

大加速器を用いる高エネルギー（若くは素粒子の）実験においては、大加速器より得られるいろいろなエネルギーの種々の粒子線を水素その他の標的に衝突させて散乱過程やいろいろな反応、粒子発生等を調べたり、多種多様な粒子やそれらの励起状態（寿命のきわめて短い（たとえば 10^{-23} sec の程度）もの、共鳴単位ともいう）の自然崩壊その他諸性質を研究したりする。こゝでも加速器で作り出せる粒子の種類やエネルギーに厳然たる制限があるけれども、これまでに LRL, BNL, CERN 等で行われた高エネルギー実験は、実にみの

り豊かに素粒子の世界の驚異を我々に教えてくれたのであった。

戦後いち早く宇宙線を利用し、高エネルギー核反応によって発生した中間子や新粒子の発見がとどいた。しかし次々とエネルギーの高い加速器が登場するにつれて、これ等の多くの“粒子”の定量的な研究が、高エネルギー加速器をもつ研究所に於て盛んに行われた。素粒子の世界に於ける奇妙な(いびつな)対称性(SU₃ の八道説版)の発見とか多くの共鳴準位の存在などは、高エネルギー加速器なくしては見出しえなかったことである。また原子核のβ崩壊における奇偶性非保存については、高エネルギー加速器によらずに実験できるにもせよ、奇妙粒子(strange particles)の自然崩壊における奇偶性・荷電共軌や時間反転に対する不変性の破れの検出・発見も高エネルギー加速器を用いてはじめてなし得られたと確言できる。また因果律に基く分散理論、更にそのRegge流の高エネルギー極限理論、Regge理論を援用した素粒子の分類学(Chew-Frautschi plot.), など著しい理論的發展は、加速器による実験の進歩と相たづさえ、理論・実験の競合の上に立ってはじめて可能であった。以上引用したのは近年の高エネルギー物理学において最も著しい進展を見せたものの例である。高エネルギー実験研究は日本においては皆無に近く、日本の高エネルギー理論に於ては上に述べた如き高エネルギー実験と相呼応するものは残念ながら多くはなかった*。それ所か、屢々無用と思われる形而上学的議論が日本の素粒子物理学界を横行しかねない。だからこそ我々は、1日も早く素研を発足させたいと心から願うのである。高エネルギー物理学においても、他の学問分野に於けると同じく、理論的及び実験的研究は車の両輪の如き関係にあり、一方なくして他方のみの正常な發展は望み得ないことである。

x x x

本来ならば、こゝに高エネルギー実験によくつかわれる種々の粒子検出器(各種のカウンターや放電箱**, 泡箱)やデータ処理方式・電算機について詳しくのべるべきであろうが、余りに長くなるので割愛する。

* 多くはないが、とくに若い研究者によってこの(実験に密着した)方面で極めてすぐれた理論的研究が続々と発表されるようになってきているのは、心強い限りである。

** 福井崇時、宮本重徳の発明になる。

最近における高エネルギー実験の例

I (I-7, I-9, I-15) に述べたように、加速器を用いる高エネルギー物理実験は情報処理機をそなえたものになってきており、IOその他エレクトロニクス技術の粋をきそって、行われている。素研のシンクロトロンができたときに行われる実験を予測するのは困難なので、1964年、1966年、及び現在においてCERNの陽子シンクロトロンを用いた実験のリストを掲げることを以て代える(表5・1, 表5・2, 表5・3)。

なお参考のためにStaffordが1968年6月TriesteのInternational Centre for Theoretical Physicsで行った講演をここに引用しておこう。これにはCERNとRHELにある高エネルギー加速器(CERN陽子シンクロトロンとニムロド)のビーム強度及びこれらの加速器によって生ずる二次線の強度の現状が要領よくまとめてあって実験を考える上で便利である。

参考資料 (G.H. Stafford, 1968-5-31, による)

Take two machines as typical: (a) CERN PS (Strong focusing)
(b) Nimrod (Weak focusing)

CERN PS

Maximum energy 28.5 GeV
Protons per pulse $\sim 10^{12}$ internal
Pulse repetition rate 12 per minute

Remarks: There is an agreed improvement programme which will double the repetition rate and increase the circulating beam to $\sim 10^{13}$ protons per pulse.

Secondary beams are available both from internal targets and external targets. It is usually possible to have several experiments running on the machine at any one time.

Nimrod

Maximum energy 7 GeV
Protons per pulse 1.5×10^{12} internal
Pulse repetition rate 23 per minute

Remarks: We have improvements in mind which would improve the circulating beam by a factor of 3 or 4. Secondary beams are available both from internal targets and external targets and as at CERN it is possible to have several experiments running on the machine at any one time.

Typical Beams

The number of useable particles can vary enormously because usually it is necessary to make many compromises to fit in all the experimental teams. Here are some actual Nimrod beam figures. Yields are obtained at the end of the beam line so decay has been taken into account.

Particle	Beam	Yield per pulse with 1.5×10^{12} protons circulating with $\Delta P/P = 1\%$ FWHH	Momentum GeV/c
π^-	2 tank separated beam	1.5×10^6	1.5
π^+		2.5×10^6	1.5
K^-		2.5×10^3	1.5
K^+		1.5×10^4	1.5

The following table gives some similar CERN figures:

Particle	Beam	Yield per 10^{12} protons with P/P = 1% FWHH	Momentum GeV/c
π^-	Unseparated	$\sim 2 \times 10^6$	1.5
π^+		$\sim 3 \times 10^6$	1.5
π^+		$\sim 3 \times 10^6$	2.5
π^-		$\sim 2 \times 10^6$	2.5
K^+		1.2×10^5	1.5
K^-		5×10^4	1.5
\bar{p}		10^4 (4P/P unknown)	3.0
K^-		1.5×10^3	7.5
\bar{p}		10^2	12.7

These are typical beams as actually used in counter experiments. Bubble chamber beams usually only require ~ 10 -100 particles per pulse, but have a high degree of separation and so may use 10-50% of the circulating beam depending on the energy. Obviously the higher the energy the greater the fraction of beam required. Neutrino experiments, of course, need the full beam and, generally speaking, no other experiment can be run at the same time. Absolute yields at 28 GeV are naturally much higher than at 7 GeV and the following two tables give some figures for the CPS and Nimrod.

CERN Yields from one interaction length of lead at 18.8 GeV/c per 10^{12} protons per pulse and 20 pulses per minute (Ster⁻¹ GeV/c⁻¹)

Momentum GeV/c	1	2	3	4	6	8	10	12
π^+ ($\times 10^{11}$)	3.9	3.7	4.0	3.2	3.2	2	0.7	0.4
π^- ($\times 10^{11}$)	3.8	3.2	2.8	1.9	1.2	0.6	0.3	0.1
K^+ ($\times 10^9$)	46	45	48	40	27	22	-	6
K^- ($\times 10^9$)	45	34	27	16	7	3	0.6	0.2

Nimrod Yields from one interaction length of lead at 7 GeV for 1.5×10^{12} protons per pulse and 23 pulses per minute ($\text{Ster}^{-1} \text{GeV}/c^{-1}$)

Momentum GeV/c	1	2	3	4
π^+ ($\times 10^{11}$)	1.1	1.0	0.74	0.26
π^- ($\times 10^{11}$)	0.75	0.52	0.25	0.12
K^+ ($\times 10^9$)	5.7	5.0	3.5	1.5
K^- ($\times 10^9$)	0.9	0.46	0.2	

One final point which may interest you is the number of physicists we can keep occupied on Nimrod. These are given in the following table:

	<u>Visitors</u>		<u>RHEL</u>	
	Counter Physics	Bubble Chamber	Counter Physics	Bubble Chamber
Physicists	57	36	21	6
Research Students	43	43		
TOTAL	100	79	21	6

The counter physicists make up nine teams and we usually have at least half of these working on Nimrod at any one time.

表 5. 1 SUMMARY OF BUBBLE-CHAMBER RUNS IN 1964 AT CERN

Beam	Chamber	No. of Pictures	Laboratories sharing films	Date
K^- , 6 GeV/c	Saclay HBC 81	70 000	Birmingham, Cambridge, Glassgow, Imperial College, Munich, Oxford, NIRNS	February
π^+ , 8 GeV/c	Saclay HBC 81	141 000	Aachen, Berlin, CERN, Krakow, Warsaw	February-March
p , 10 GeV/c	Saclay HBC 81	84 000	Cambridge, Hamburg, Stockholm, Vienna	February-March
K^+ , 5 GeV/c	Saclay HBC 81	90 000	Brussels, Cambridge, CERN	February-March
π^- , 20 GeV/c	Saclay HBC 81	14 000	CERN/TC	March
ν , 1.2 GeV/c	CERN HLC 100	400 000	CERN/NPA	April-July
\bar{p} , 0.8-1.2 GeV/c	Saclay HBC 81	300 000	CERN, College de France, Institut du Radium, Liverpool	June-July
K^- , 5 GeV/c	Saclay HBC 81	250 000	CERN, Heidelberg, Saclay	June-July
K^- , 5 GeV/c	BNHBC 152	140 000	Birmingham, Cambridge, Glasgow, Imperial College, Munich, Oxford	June-July
K^- , 6 GeV/c	BNHBC 152	396 000	Birmingham, Cambridge, Glasgow, Imperial College, Munich, Oxford	June-July + September-October
K^+ , 5 GeV/c	BNHBC 152	60 000	Brussels, Cambridge, CERN	June-July
π^+ , 5 GeV/c	BNHBC 152	65 000	Bonn, Durham, Ecole Polytechnique, Nijmegen, Turin	October + December
p , 19 GeV/c	Ec. Poly. 1-m HLC	90 000	CERN/NPA	October
π^- , 16 GeV/c	Ec. Poly. 1-m HLC	100 000	Ecole Polytechnique	October
K^+ , at rest	Saclay DBC 81	120 000	Bari, Berne, Genoa, Turin	October
\bar{p} , at rest	Saclay DBC 81	70 000	Padua, Pisa	October
\bar{p} , in flight	Saclay DBC 81	80 000	Rome, Trieste	October
K^- , 0.8-1.2 GeV/c	Saclay HBC 81	80 000	Argonne, CERN, Heidelberg, Saclay	December
p , 10 GeV/c	BNHBC 152	50 000	Cambridge, Hamburg, Stockholm	December
Total :		2 602 000		
Of these:		1 177 000 pictures were for groups outside CERN only		
		921 000 pictures were for groups outside CERN and for CERN		
		14 000 pictures were for CERN/TC (Track Chambers Division)		
		490 000 pictures were for CERN/NPA (Nuclear Physics Apparatus Division)		

表 5-2 Approved Experiments (CERN PS)

Summer 1966

CPS/EXP/6

11.5.1966

COUNTER EXPERIMENTS APPROVED BY NPRC

Table I

Expt. Code	Beam		Experiment	Authors	Date of Approval by NPRC	Status
	Code	Description				
S31	d ₂₁	Unseparated π , K, \bar{p} 3 to 15 GeV/c	Missing Mass Spectrometer Search for negatively charged pionic resonances	Chikovani, Dubah, Focacci, Kienzle, Levrat, Maglic, Martin, Nef, Schübelin	23.3.66	Start in \sim Oct. '66
S33	h ₃	Fast ejected protons, 12 GeV/c	Muon Storage Ring Precision measurement of g-2	Bailey, Brown, Farley, Giesch, Jöstlein, van der Meer, Picasso	7.4.65	Testing
S35	d ₂₂	π^- 6 GeV/c, 12 GeV/c	Pion Charge Exchange on Polarized Protons. Investigation of spin dependence of interaction at 6 and 12 GeV/c and $0.22 \leq -t \leq 1$ (GeV/c) ²	Borgeaud, Caverzasio, Falf-Vairant, Guillaud, Guisan, Sonderegger, Yvert	13.1.65	In Production
S38	e ₂	Slow ejected protons	Cross section fluctuations in large angle pp scattering. Bremsstrahlung in large angle pp scattering. Heavy μ^- pair production in pp collisions. Test	Allaby, Bellettini, Cocconi, Diddens, Metthiae, Sacharidis, Silverman, Wethere 11	12.1.66 23.3.66 11.5.66	Start May '66 " "
S39	b ₈	Neutral beam 8.2°	Interference of Regenerated $K_1^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ with $K_2^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$	Bott-Bodenhausen, De Bouard, Dekkers, Felst, Mermod, Scharff, Vivargent, Willitts, Winter, Savin	17.3.65	In Production
S40	b ₉	Neutral beam 16.7°	Rate of $K_2^0 \rightarrow 2 \pi^0$	CERN-NIMROD group: Faissner, Gaillard, Krienen, Galbraith, Lipman, Manning	7.5.65	In Production
S42	d _{22a}	As d ₂₂	Electromagnetic Decays of Resonance (Test). Tests of μ detection system	CERN-MUNICH group: Hyams, Koch, Lorenz, Lütjens, D. Meyer, Pellett, Potter, Stierlin, von Lindern, Weilhammer	7.4.65	Testing
S43	d ₂₃	As d ₂₁	Scattering of Pions from Polarised Protons. Investigation of spin dependence of π -p scattering, 5-15 GeV/c, $0.09 \leq t \leq 0.5$ (GeV/c) ² .	Borghini, Coignet, Dick, Di Lella Macq, Michalowicz, Olivier	7.5.65 12.1.66	In Production
S44	m _{4d}	Separated counter beam π , K, \bar{p} , but limited to ~ 2.5 GeV/c max.	Dalitz Plot of Decay. Study of C invariance by looking at symmetries of γ Dalitz plot	CERN-ETH group: Dufey, Finocchiaro, Gobbi, Mittner, Muller, Pouchon	4.6.65	In Production

COUNTER EXPERIMENTS APPROVED BY NPRC

Table 1 (cont'd)

Expt. Code	B e a m		Experiment	Authors	Date of Approval by NPRC	Status
	Code	Description				
S45	ϵ_{3b}	Unseparated < 1.8 GeV/c	β Parameter of Λ Decay. Precision Measurement.	CERN-GENEVA group: Bienlein, Cleland, Conforto, Eaton, Gerber, Reinharz, Von Dardel, Gautschi, Heer, Renevey, Henriksson, Jarlskog	7.7.65	Testing
S46	ϵ_{3a}	Unseparated < 3.5 GeV/c	Neutral decay of neutral resonances	CERN-KARLSRUHE group: Citron, Deinet, Muller, Schmitt, Schopper, Staudenmaier, Zavattini	6.10.65	May '66
S48	m_{4b}	Separated counter beam, π , K , \bar{p} , ~ 2 GeV/c	Scattering of K^- from Polarised Protons .9 to GeV/c	CERN-HOLLAND group: Daum, Duyenker, Erne, Sens	17.11.65	Start Oct. '66
S49	e_3	Slow ejected protons	Interference of $K_1^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ with $K_2^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ from K^0 decay. Interference experiment close to a primary target	Heuer, Kleinknecht, Rubbia, Scribano, J. Steinberger, Steinberger, Tannenbaum, Tittel	8.12.65	Start Nov. '66
S50	m_{4b}	Separated counter beam, π , K , \bar{p} , 2 GeV/c	Beta decay of the hyperon. Test	Duclos, Freytag, Heintze, T.W. Jones, Rieseberg Schlupmann, Siebert, Soergel	23.3.66	Start Aug. '66
S51	m_{4a}	Separated counter beam π , K , \bar{p} , below 2.5 GeV/c	Electromagnetic decays of ρ , ω and φ mesons. Test	Dalpiaz, Fortunato, Manaresi, Massam, Th. Muller, Zichichi	23.3.66	Start Sept. '66
S52	d	π^- , 4-10 GeV/c	Decay of η^0 , ω^0 , χ^0 , φ^0 into $\pi^+ \pi^- \gamma$ and other modes, Test	Astbury, Brautti, Codling, Michelini, Websdale, Beusch, Fischer, Pepin, Polgar	11.5.66	Start Oct. '66
S53	d	π^\pm , 4-10 GeV/c	Large momentum transfer scattering	Baker, Carlson, Krienen, Lundby, Nierhaus, Pretzl, Woulds	11.5.66	Start 1967
S54	d	π^- , 5-18 GeV/c	Measurements of the Parameters A and R in $\pi - p$ scattering	Ducros, Merlo, Movchet, Sondere Sonderegger, Rossum	11.5.66	Start 1967
S55	d_{22}	π^- , 11 GeV/c	$\pi^- p \rightarrow \Lambda^0 K^0$ and $\rightarrow \Sigma^0 K^0$ in forward direction. Test	Manelli, Gorini, Scribano, Sergiampietri, Vincelli, Bonamy, Guillaud, Schneider, Guisan	11.5.66	Start ~ Oct. '66

BUBBLE CHAMBER EXPERIMENTS APPROVED BY NPRC

CPS/EXP/6
11.5.1965

TABLE II

Expt. Code	Beam		Chamber	Liquid	Subject	Groups	Approved Nr. of pict./or weeks	Date of approval by NPRC	Start of chamber operation	Nr. of approved pictures already taken	Total Number of this type of pictures already taken in CERN
	Code	Description									
T80	m ₆	Electrostatic separated beam, 2 < K < 4 GeV/c 1 < π, p̄ < 5 GeV/c	2 m	H ₂	p̄, 3.6 GeV/c	CERN, Orsay	200.000	7.5.65			339.000
T88	m ₆		2 m	H ₂	p̄, 2.5 GeV/c	Ecole Polytechnique Paris	100.000	11.5.66	Oct. '66	0	140.000 at 4.0 GeV/c 140.000 at 3.0 " 340.000 at 2.5 "
T112	m ₆		2 m	H ₂	K ⁻ , 2.8 - 4.5 GeV/c	Ecole Polytechnique Paris Oxford, Saclay	400.000	11.5.66	Oct. '66	0	0
T129	m ₆		2 m	H ₂	p̄, 1.2 GeV/c	CERN, College de France, Inst. Radium, Liverpool	200.000	11.5.66	Oct. '66	0	0
T36	u ₃		RF separated beam, K [±] , ≥ 10 GeV/c	2 m	H ₂	p̄, 12 GeV/c	Hamburg, Padua, Pisa	100.000	11.5.66	End '66	0
T41	u ₃		2 m	H ₂	K ⁺ , 10 GeV/c	Birmingham, Glasgow, Oxford	200.000	17.11.65	May '66	30.000	30.000
T64	u ₃		2 m	H ₂	K ⁻ , 10 GeV/c	Aachen, Berlin, CERN, Imp. Coll., Vienna	200.000	17.11.65	May '66	0	152.000 in BNHBC
T82	u ₃		2 m	H ₂	p, 19 GeV/c	Copenhagen, Oslo, Stockholm	100.000	12.1.66	May '66	0	0
T87	u ₃		2 m	H ₂	π, 11.7 GeV/c	Genoa, Hamburg, Milan, Saclay	200.000	23.3.66	May '66	0	0
T99	u ₃		2 m	H ₂	K ⁺ , 8 GeV/c	Brussels, CERN	100.000	23.3.66	May '66	0	0
T107	u ₃		2 m	H ₂	π ⁻ , 16 GeV/c	Aachen, Berlin, Bonn, CERN, Krakow, Warsaw	100.000	11.5.66	End '66	0	0

BUBBLE CHAMBER EXPERIMENTS APPROVED BY NPRC

CPS/EXP/6

TABLE II (Cont'd)

11.5.1966

Expt. Code	Beam		Chamber	Liquid	Subject	Groups	Approved Nr. of pict./or weeks	Date of approval by NPRC	Start of chamber operation	Nr. of approved pictures already taken	Total Number of this type of pictures already taken in CERN
	Code	Description									
T116	u ₃	RF separated beam, K ⁺ , ≥ 10 GeV/c	2 m	H ₂	p, 16 GeV/c	Cambridge, Imperial College	100.000	23.3.66	May '66	0	0
T118	u ₃		2 m	H ₂	p, 13 GeV/c	Orsay, Saclay	60.000	23.3.66	May '66	0	0
T102	k ₇	Electrostatic separated K's 800-1200 MeV/c	81 cm	H ₂	K ⁻ 0-400 MeV/c	Heidelberg	10 ⁶ in 2 years	8.12.65	May '66	0	300.000
T123	k ₇		81 cm	H ₂	\bar{p} , 700 MeV/c	CERN, College de France, Liverpool	200.000	11.5.66	Sept. '66	0	0
T126	k ₇		81 cm	H ₂	K ⁻ , 510-750 MeV/c	CERN, Heidelberg, Saclay	100.000	11.5.66	Sept. '66	0	0
X4	b ₁₁	Neutral beam 30°	CERN HLC 120	CF Br ₃	K ₂ ⁰ decays	CERN, Ecole Polytechnique, Orsay	300.000	6.10.65	May '66	0	0
T96	74e	Fast ejected beam	HLC 120	C ₃ H ₃	++p N** + μ ⁻	CERN	6 weeks	23.3.66	-	0	0

EMULSION AND NUCLEAR STRUCTURE EXPERIMENTS APPROVED BY NPRC

CPS/EXP/6
11 May, 1966

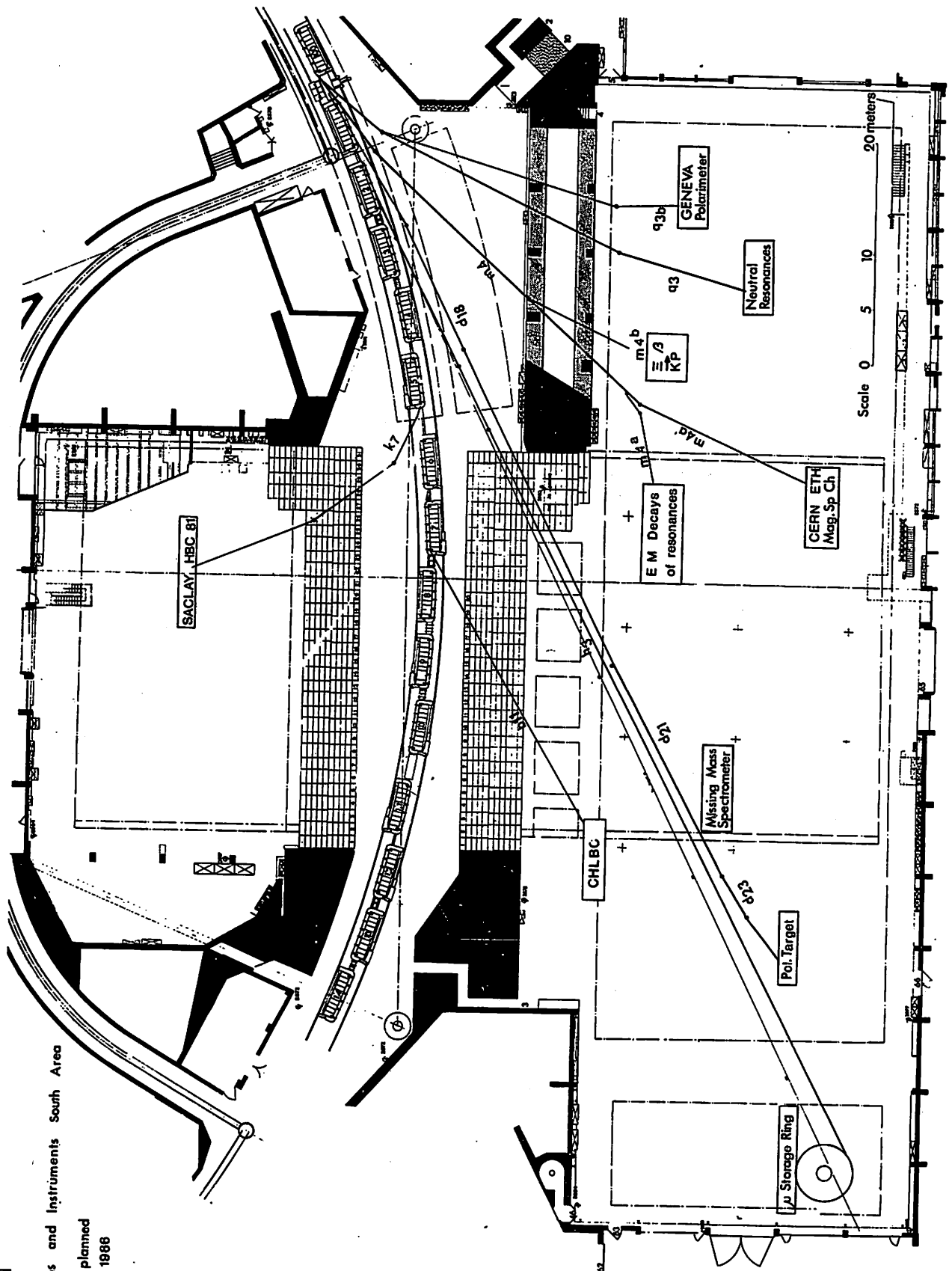
TABLE III

Expt. Code	B e a m		S u b j e c t	Group	Approved number of shifts or particles	Date of approval by NPRC
	Code	Description				
E52	e ₂	Ejected protons 12 GeV/c	Study of heavy fragments emitted in the interaction of high-energy protons with complex nuclei	CERN, Valencia Warsaw	3 shifts	17.3.65 (12.1.66)
E54	u ₃	RF separated beam, K ⁻ ≥ 10GeV/c	Hyper fragment Studies. K ⁻ exposure (10 or 14 GeV/c) behind CERN HBC 200	European K-Collaboration, Delhi, Hamburg, Strasbourg, Belgrade	13 shifts + setting up. (All parasitizing on RF runs)	17.11.65
E56	e ₂	Slow ejected protons	Fission studies with mica detectors	CERN, Naples, Warsaw	3 shifts	2.12.64
E58	a ₉	Low-energy secondary beam, produced from e ₂ (F.F.)	Magnetic moment of Λ hyperon	CERN, Lausanne	10 weeks, 1/10	25.2.1966
NSC/10/65	h ₃	Fast ejected protons, 12 GeV/c	Nuclear reactions at high energy, studied with a mass spectrometer	Gernas, Klapisch, Chaumont, Philippe, (Orsay)	2 weeks	23.3.1966

Remarks : E57 is off the programme until a suitable beam is available.

CPS/Exp/ 6
may 1986

Fig. 1 Beams and Instruments South Area
Situation as planned
for Summer 1986



CPS/Exp/6
 may . 1986

Fig 2 Beams and Instruments East Area
 Situation as planned
 for Summer 1986

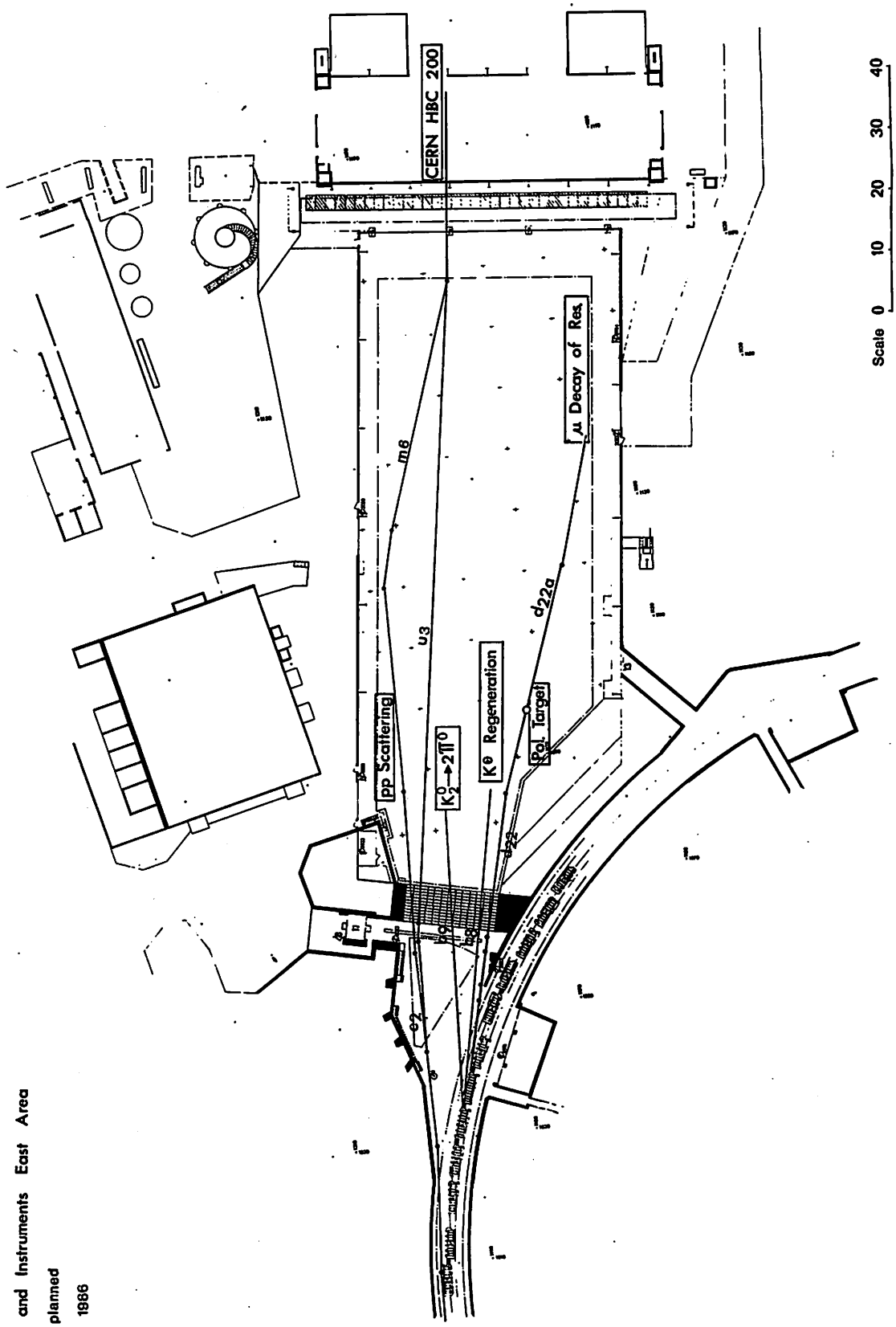


表 5・3 CERNで approve された実験の表 (1968年2月現在)

Table I. PS counter experiments

- 14 on the floor
- 5 not yet on the floor
- 1 finished in the period 1/11/67 ~ 15/2/68

Table II. B.C.

- 14 scheduled for the next months of operation
- 9 finished in the period 1/11/67 ~ 15/2/68 (exposure)

Table III. Emulsion

- 2 finished in the period 1/11/67 ~ 15/2/68 (exposure)

CPS/EXP/12
15.2.1968

EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH

APPROVED EXPERIMENTS CERN PROTON SYNCHROTRON

FEBRUARY 1968

- Table 1A : PS COUNTER EXPERIMENTS ON THE FLOOR
Table 1B : PS COUNTER EXPERIMENTS NOT YET ON THE FLOOR
Table 1C : PS COUNTER EXPERIMENTS FINISHED IN PERIOD 1.11.1967 - 15.2.1968
Table 2A : BUBBLE CHAMBER EXPERIMENTS SCHEDULED FOR NEXT MONTHS OF OPERATION
Table 2B : BUBBLE CHAMBER EXPERIMENTS FINISHED IN PERIOD 1.11.1967 - 15.2.1968
Table 3 : PHYSICS III EXPERIMENTS FINISHED IN PERIOD 1.11.1967 - 15.2.1968

M. Reinharz
PS Co-ordinator

S O U T H A R E A

Area Code	Expt. Code	Beam Description	Description of Experiment	Authors	Date of Approval by NRC	Conditions of Approval	Status
S66	b ₁₅	Neutral beam at 2.8u from target 1	n-p scattering above 6 GeV/c Detectors: spark Chambers	KARLSRUHE: Citron, Engler, Horn, Keim, König, König, Runge, Schindacker, Schopper, Zievers, Ulrich	7.6.1967	Test	Started August 1967
S33	h ₃	Fast ejected protons	Precision measurement of g-2 of muon by measurement of spin precession of 1.3 GeV/c muons in storage ring	Bailey, Bartl, Brown, Farley, Jöstlein, Picasso, Von Bochmann, R. W. Williams	7.4.1965	--	In Production
S54	d ₂₇	π^- , 5-18 GeV/c	Measurements of parameters A and R in π^- p scattering, using a polarized target and a spark chamber	SACLAY: Ambard, Cozzika, Ducros, Hansroul, Herlo, Kovchet, Beurley, van Rossum	11.5.1966	π^- only 5 weeks	Setting up
S65	d _{27a}	π^- , 5-18 GeV/c	Neutral final states in π^- - p interactions. Detectors: Optical Spark Chambers in magnet	CERN-ETH: Astbury, Bruttli, Michelini, Reisdale, Beusch, Fischer, Wühlmann, Pepin	10.5.1967	Second priority to exp. S54	In Production
S61	m _{4e}	Separated counter beam, π^- , K ⁺ , p below 2.5 GeV/c	Search for electromagnetic decays of ρ^+ and ϕ mesons into e^+e^- . Determination of ω - ϕ mixing angle. Production of $\pi^+p \rightarrow B^0(-e^+)n$ at about 2.5 GeV/c. Detectors: time of flight for neutrons, heavy plate spark chambers for electrons	Bollini, Bühler, Dalpiaz, Hassam, Navach, Navarria, Schneegans, Zichichi	28.3.1966	5 weeks	In Production
S50	m _{4b}	Separated counter beam, π^- , K ⁺ , p \sim 2 GeV/c	Beta decay of Ξ hyperon. Production reaction: $K^+p \rightarrow K^{\pm} \Xi$ at 1.8 GeV/c Detectors: spark chambers	CERN-HEIDELBERG: Duclos, Freytag, Heintze, Heinzlmann, I. W. Jones, Mundhenke, Rieseberg, Siebert, Soergel, Theriot, Wagner	23.3.1966	4 weeks	In Production
S67	m _{4b}	Separated counter beam π^- , K ⁺ , p \sim 2 GeV/c	Measurement of $K^+p \rightarrow K^+n$ cross sections from 1 - 2 GeV/c. Detectors: counters	Bricman, Ferro-Luzzi, Perrau, Zequinot, Descals, Valladas	5.7.1967	Test behind exp. S50	Started January 1968
S64	q ₅	Unseparated π^- , p $>$ 3 GeV/c	Magnetic boson spectrometer for meson gap magnet and wire chambers	Benz, Baud, Chikovani, Cottaron, Bostjakovic, Damgaard, Net, Focacci, Kianzle, Klammer, Levrat, Lechanoiné, Martin, Schubelin	10.5.1967	Low-energy part	In Production
S63	q ₄	Unseparated π^- , p $>$ 1.2 GeV/c	π^- d elastic scattering Detectors: wire Spark Chambers	CERN-TRIEST: Bradamante, Conetti, G. Fiducaro, M. Fiducaro, Giorgi, Penzo, Piamontese, Sauli, Schiavon, Vascotto	10.5.1967	Low-energy part	In Production

PS COUNTER EXPERIMENTS APPROVED BY NRC
Table 1A
EXPERIMENTS ON THE FLOOR

CPS/EXP/12
15.2.1968

CP 3/EXP/12
15.2.1968

PS COUNTER EXPERIMENTS APPROVED BY NRPC
Table 1A (cont'd)
EXPERIMENTS ON THE FLOOR

Area Code	Expt. Code	Beam Description		Description of Experiment	Authors	Date of Approval by NRPC	Conditions of Approval	Status
		Code	Description					
East	S49	b ₁₃	Neutral beam derived from e ₃	Interference of $K^0 \pi^+ + \pi^-$ with $K^0 \pi^0 + \pi^-$ from K^0 decay and determination of $K^0 - K^0_S$ mass difference. Detectors: spark chambers, magnetic analysis of $\pi^+ \pi^-$	CERN-Aachen-Torino: Bisi, Böhm, Foeth, Darriulat, Ferrero, Grosso, Kattanov, Kleinkecht, Lenhart, Lynch, Rubbia, Sandweiss, Staudé, Tittel	8.12.1966	Shut-down until 1968	In Production
East	S59	P ₂	Unseparated π^+, K^+ , π^- at 4-20 GeV/c, produced from slow ejected proton beam e ₃	Measurement on the parameter P_0 in $\pi^+ p, K^+ p, p^+ p$ scattering, using a transversally polarized target and counter hodoscopes	CERN-ORSAV-PIJA: Borghini, Dick, Di- lella, Gergoire, Macq, Olivier, Poullet, Cronenberg, Kuroda, Michalovitz, Belleitini, Braccini, Del Prete, Foa	8.12.1966	-	In Production
East	S53	P ₁	Unseparated π^+, K^+, p^- at 4-20 GeV/c, produced from slow ejected proton beam e ₃	Elastic πp large momentum transfer scattering up to 180°. Detectors: wire spark chambers; magnetic analysis of both particles	Baker, Berkelman, Carlson, Fisher, Kalbach, Lundby, Rukhin, Wierhaus, Pretzl, Woids	11.5.1966	-	In Production
East	S50	b ₁₄	Neutral K beam derived from e ₃	Interference of $K^0 \rightarrow 2 \pi^0$ and $K^0 \rightarrow 2 \pi^+$. Detectors: Heavy plate spark chambers	J.M. Galliard, Cholley, Jane, Repellin, Raticiffre, Schubert, Kofft	11.1.1967	-	In Production
East	S61	S ₄	Scattered protons from slow extracted beam e ₃	High-energy particle production by 20 GeV protons on protons at small angles. Method: Double focusing spectrometer and USC Cerenkov counter	Allaby, Diddens, Kloving, Sacharidis, Schlüpmann, Thordike, Gatharell, Binon, Dattel, Heuter, Poigneux, Spiguel, Stroet	8.2.1967	-	In Production

CPs/EXP12
15.2.1968

PS COUNTER EXPERIMENTS APPROVED BY NRC
Table 18
EXPERIMENTS NOT YET ON THE FLOOR

Area	Expt. Code	Beam Description	Description of Experiment	Authors	Date of Approval	Condition of Approval	Status
EAST	S62	d Unseparated negative beam, 30 GeV/c	Search for charge- $1/3$ particles, produced from an internal target. Method: Counters and large gap spark chambers	Allaby, Diddens, Gygi, Klöwing, Scharifidis, Schneider, Schuppam, Wetherall	8.2.67	--	Start Autumn 1968
	S69	a b Separated counter beam, π , K, p \sim 2 GeV/c	High precision measurement on $\Delta S/\Delta Q$ rule Detectors: Counters and wire chambers	CERN-ORSAY-VIENNA: Aubert, Bartl, de Bouard, Guillard, Lepeltier, Hassenot, Regler, Steuer, Viarгент, Willits, Winter, Yvert	4.10.67	Test behind exp. S50 compatible with exp. S67	Start 1968
	S68	a Separated counter beam	K_{gh} Decay. Detectors: Čerenkov counter and magnetic analysis of the 3 charged decay particles	GENVA-SACLAY: Pouchon, Bourquin, Boymond, Extermann, Mermod; Basile, Thévenat, Turley, Sutter, Sylberstein	16.8.67	No commitment starting time or beam alloc.	Start after shut-down 1968
EAST	S70	a Separated counter beam	A study of the modes $K^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} \pi^0 \gamma$ $\pi^{\pm} \pi^0 \pi^0$ Detectors: Spectrometer magnet and wire chambers	OXFORD-RHEL-LIVERPOOL: Anderson, Corbett, Emerson, Garvey, Jones, Salmon, Brown, Duke, Hill, Holler, Jones, Thresher, Booth	4.10.67	No commitment starting time or beam alloc.	Start after shut-down 1968
	S71	b c Neutral beam derived from θ_j	K_L^0 Leptonic and 3 π decays. Detectors: Wire spark chamber and Čerenkov counter	CERN-Aachen-Torino: Bisi, Böhm, Foeth, Barralal, Ferrero, Grosso, Katanov, Kleinhoch, Lenhart, Lynch, Rubbia, Zandweis, Staude, Tittel	7.2.68	Only after end of exp. S49 and if still possible before shutdown 1968	

CFS/EXP/12
15.2.1968

PS COUNTER EXPERIMENTS APPROVED BY NPRC

Table 1C

EXPERIMENTS FINISHED IN THE PERIOD 1.11.1967 TO 15.2.1968

Area	Exp. Code	Beam		Description of experiment	Authors	Date of Approval by NPRC	Date of Completion	Total Nr. of wks *	Status
		Code	Description						
Neutrino	S56	μ	Neutrino beam	Muon number conservation. Measurement of μ^+/μ^- ratio of events produced by a pure neutrino beam and A dependence of inelastic reactions. Detectors: Spark chambers and HLBC	CERN-FRIBOURG: Borer, Hahn, Hofer, Krienen, Seller	20.6.1966 8.12.1966	November 1967	8	Analysis

* Sum of weeks in which protons were used for setting up, testing and data taking.

BUBBLE CHAMBER EXPERIMENTS APPROVED BY NPRC

Table 2A

EXPOSURES SCHEDULED FOR THE NEXT MONTHS OF OPERATION

Area	Expt. Code	Beam and Chamber	Experimental beam	Summary	Groups	Apprvd. Nr. of px/wks.	Date Approval NPRC	Start operation	Total Nr. px taken by 15.2.1968
6	T112	Electrostatic separated beam $2 < K < 4 \text{ GeV/c}$ $1 < \pi, p < 5 \text{ GeV/c}$, HBC200, H ₂	K^+ , 2.8-4.5 GeV/c	Mécanismes de production. Extension des statistiques sur les propriétés des résonances (états finals $\pi^+ \pi^0 \Delta^0$ boson neutre, nucléon K^+). Production de Ξ	Asterdam, E.P., Hjjaegen, Oxford, Saclay, UCLA	400.000	11.5.66	Oct. 1966	718.000 (90.000 with 10% π^-)
3	T 87	R.F. separated beams, $K^+ > 10 \text{ GeV/c}$, HBC 200, H ₂	π^+ 11.7 GeV/c	Study of resonances and production mechanisms in $\pi^+ p$ interactions with 2, 4, 6 and 8 protons in the final states	Durham, Genova, Hamburg, Milan, Saclay	200.000 100.000	23.3.66 7.2.68	Febr. 1968	154.000
4	T106	HBC 200, H ₂	π^+ , 16 GeV/c	High energy interactions, quasi two-body processes, study of resonances, comparison with 8 GeV/c π^+ results	CERN, Aachen, Berlin, Bonn, Heidelberg, Krakow, Warsaw	100.000	7.6.67	After 1968 Sh.-d.	0
5	T141	Idem	K^+ , 10 GeV/c	$K^+ p$ interactions including spin-parity determination of $K^*(1400)$, confirmation of $K^*(1320)$ and $K^*(1800)$, possible new boson resonances, production of antihyperons, including possibly the anti-omega	Birmingham, Glasgow, Edinburgh, Oxford	200.000	8.11.67	Jan. 1968	138.000
7	T119 T120	HLBC 120 Propane	K^+ , 10 GeV/c	Étude des interactions cohérentes sur noyau par des K^+ à grande énergie, et des interactions $K^+ p$ à grande énergie, principalement de celles produisant des π^0	Berkeley, Ec.Pol., Milan, Orsay, Bergen Saclay, Madrid-Valencia, Strasbourg	200.000	19.4.67	Jan. 1968	114.000
8	T158 T159	HBC 200, H ₂	p , 12 and 24 GeV/c	Complete study of pp collisions at 12 GeV/c and 24 GeV/c with a statistical accuracy of about 5 events/ μb at each energy	Bonn, Hamburg, Munich	250.000	6.12.67	After 1968 Sh.-d.	0

BUBBLE CHAMBER EXPERIMENTS APPROVED BY MPRC
Table 2A (cont'd)
EXPOSURES SCHEDULED FOR THE NEXT MONTHS OF OPERATION

Area	Expt. Code	Beam and Chamber	Expt. beam	Summary	Groups	Apprvd. Hr. of px/wks.	Date Approval MPRC	Start Operation	Total Hr. px taken by 15.2.1968
M S T	T129	k_8 : Electrostatic separated beam : K^+ , 1.2-2 GeV/c : HBC 200, H ₂	\bar{p} , 1.2 GeV/c	Study of the quantum numbers of the D^0 meson ($K\bar{K}\pi$) in the $KK3\pi$ and $KK4\pi$ final states of \bar{p} annihilations at 1.2 GeV/c, and accessorially all the other physical results	CERN, Coll. de France, Inst. du Radium, Liverpool, Lausanne, Neuchâtel	200.000	11.5.66	Oct. 1966	63.000
	T130	k_7 : Electrostatic separated beam : K^+ , 1.2-2 GeV/c : HBC 200, H ₂	K^+ , 1.4-1.7 GeV/c	K^+p formation experiment to search for fine structure in the $\gamma^*(2040)$ region	CERN, Heidelberg, Saclay	100.000	8.11.67	March 1968	0
	T155	k_7 : Electrostatic separated beam : K^+ , 0.8-1.25 GeV/c : HBC 81	K^+ , 1.2-1.8 GeV/c	Prod. of 300.000 K^0 of well-known momentum to study $\Delta 0/\Delta S$, using leptonic decay; $K^0 \rightarrow \pi^+\pi^-/K^0 \rightarrow \pi^0\pi^0$; K^0 life-time; secondary interactions of K^0 ; the 3-body reaction $K^0 p \rightarrow K^+ p \pi^-$ (100.000 evts.) and the decay of $K^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ (100.000 evts.)	CERN, Saclay	500.000	6.12.67	1968	0
M S T	T147	k_7 : Electrostatic separated beam : K^+ , 0.8-1.25 GeV/c : HBC 81	\bar{p} , 1.2 GeV/c	Study in low-energy $\bar{p}n$ and $\bar{p}d$ reactions of final state interaction, already observed in $2\pi^+3\pi^-$ and $\pi^+2\pi^-\bar{p}n$ annihilations at rest. Investigation of the nature of the 1-1 structure seen in \bar{p} -Nucleon total cross section at lab. momentum 1.3 GeV/c	Bologna, Padua, Pisa, Turin	100.000	8.11.67	March 1968	0
	T137	k_7 : Electrostatic separated beam : K^+ , 0.8-1.25 GeV/c : HBC 81	K^+ , 0.9-1.4 GeV/c	Investigation of the nature of the structures seen in K^+ -Nucleon total cross sections in 1-0 via a formation experiment	Bologna, Glasgow, Rome, Trieste	150.000	8.11.67	April 1968	0
	T156	k_7 : Electrostatic separated beam : K^+ , 0.8-1.25 GeV/c : HBC 81	K^+ , 1.2-1.27 GeV/c	Better study of the K^+ momentum region between 1.1 and 1.27 GeV/c with particular emphasis on the existence and properties of a γ_g^* (1860) and of a γ_1^* (1910)	CERN, Heidelberg, Saclay	90.000	8.11.67	April 1968	0
	T136	k_7 : Electrostatic separated beam : K^+ , 0.8-1.25 GeV/c : HBC 81	K^+ , 0.9-1.4 GeV/c	Investigation of the nature of the structures seen in K^+ -Nucleon total cross sections in 1-0 and 1-1 via a formation experiment	Bologna, Glasgow, Rome, Trieste	100.000	7.2.68	Jan. 1968	55.000
NEUTRINO	T151	k_6 : Fast ej. beam : HLBC 120 : C ₂ H ₆ : C ₃ H ₈	μ 2-10 GeV/c	High-energy μ exposure in HLBC. Survey study of inelastic muon interactions, energy dependence of cross sections, $\mu + p \rightarrow N^{*++}$, μ study, μe , $\mu\gamma$ with > 1 GeV/c 3-momentum transfer	CERN, Wisconsin, Pauova, Oxford	200.000 As standard by only	7.6.67		25.000

CP'S/EXP/12
15.2.1968

BUBBLE CHAMBER EXPERIMENTS APPROVED BY RPRC

Table 28

EXPOSURES FINISHED IN THE PERIOD 1.11.1967 TO 15.2.1968

Area	Expt. Code	Beam and Chamber	Expt. beam	Summary	Groups	Apprvd. Nr. px	Date Apprvl.	Start-Nr. px taken	
EAST NORTH	152	Electrost. sep. beam $2 < K < 4 \text{ GeV/c}$, $1 < \theta < 2$	K^+ 4.6 mechansims in quasi two-body react. Verification of $3 \rightarrow 2$ states in reactions like $K^+ K^0 \Lambda^0$	Study of charge exch in K^n reactions. Clarification of exchange mechansims in quasi two-body react. Verification of $3 \rightarrow 2$ states in reactions like $K^+ K^0 \Lambda^0$	Brussels, CERN, Munich	100.000	8.2.67 (*)	Nov. 67 136.000	
	197	RF separated beam, $K^+ > 10 \text{ GeV/c}$, DBC 200	π^+ 12 prod.mechansims of quasi two-body reactions, coherent prod. of pions in deutera	prod.mechansims of quasi two-body reactions, coherent prod. of pions in deutera	Durham, Ecole Poly., Milan	150.000	8.2.67	Nov. 67 192.000	
	1104	DBC 200	$\pi^+ \pi^0$ 9 Study of the reactions: $\pi^+ d \rightarrow pp$ (mesons)	Study of the reactions: $\pi^+ d \rightarrow pp$ (mesons)	Bari, Bologna, Florence	150.000	8.2.67	Nov. 67 164.000	
	1157	DBC 200	p. Comparison with 19 GeV/c p-p data, in particular the rate of charge transfers $\Delta q = 2$ relative to $\Delta q = 1$ and 0	Extension at higher energy of exp. done at 5.1 GeV/c Comparison with 19 GeV/c p-p data, in particular the rate of charge transfers $\Delta q = 2$ relative to $\Delta q = 1$ and 0	Copenhagen, Helsinki, Oslo, Stockholm	30.000	6.12.67	Dec. 67 31.000	
	1121	HLBC	K^+_{110} Etude des interactions cohérentes sur noyau par des K^+ à grande énergie, et des interactions $K^+ p$ à grande énergie, principalement de celles produisant des π^0	Etude des interactions cohérentes sur noyau par des K^+ à grande énergie, et des interactions $K^+ p$ à grande énergie, principalement de celles produisant des π^0	Berkeley, Bergen, Ec. Pol., Madrid-Valencia, Milan, Orsay, Saclay, Strasbourg	200.000	19.4.67	Jan. 68 217.000	
	1164	HBC	K^+_{10} Production, decay and quantum numbers of resonances (especially $K^*(892)$, $K^*(1430)$, $K^*(1680)$, $K^*(1880)$, $K^*(1904)$)	Production, decay and quantum numbers of resonances (especially $K^*(892)$, $K^*(1430)$, $K^*(1680)$, $K^*(1880)$, $K^*(1904)$)	Aachen, Bari, Berlin, CERN, Imper. College, Vienna	200.000	17.11.65	May 66 376.000 (70.000 π^+)	
	1102	Electrost. sep. K^+ 's 700-1000 MeV/c HBC 81	K^+_{0-} $\Delta S = \Delta U$ rule, symmetry breaking in Cabibbo theory), of the $Z^0 - A^0$ form factor ratio (and test of time reversal invariance). Study of hyperon-proton scattering	Measurement of the Z^0 and A^0 leptonic decay rates (test of CVC, $\Delta S = \Delta U$ rule, symmetry breaking in Cabibbo theory), of the $Z^0 - A^0$ form factor ratio (and test of time reversal invariance). Study of hyperon-proton scattering	Heidelberg	300.000	8.12.65	May 60 1720.000	
	1154	Electrost. sep. beam K^+ K^+_{7-} $K^+_{7-} < 800-1.25 \text{ GeV/c}$ HBC 81	p.0.7 Investigation of pp annihilation at an intermediate energy because of striking differences betw. meson resonances prod. in annihilations at rest and at 1.2 GeV/c. Attempt to understand both the new resonances observed and the pp annihilation mechanism	Investigation of pp annihilation at an intermediate energy because of striking differences betw. meson resonances prod. in annihilations at rest and at 1.2 GeV/c. Attempt to understand both the new resonances observed and the pp annihilation mechanism	CERN, Collège de France	50.000	8.11.67	Jan. 68 104.000	
	196	Fast eject. beam 74e HLC 120 C ₂ H ₄	$v \cdot p$ Study of the process $v + p \rightarrow K^+ + \pi^0 + n$ on free protons in propane and extension of the previous investigation with more precise data and with improved spectrum measurements	Study of the process $v + p \rightarrow K^+ + \pi^0 + n$ on free protons in propane and extension of the previous investigation with more precise data and with improved spectrum measurements	CERN, Milan, Orsay	7 wks	4.10.67	March 1967 1,25,240	
	MEETING								

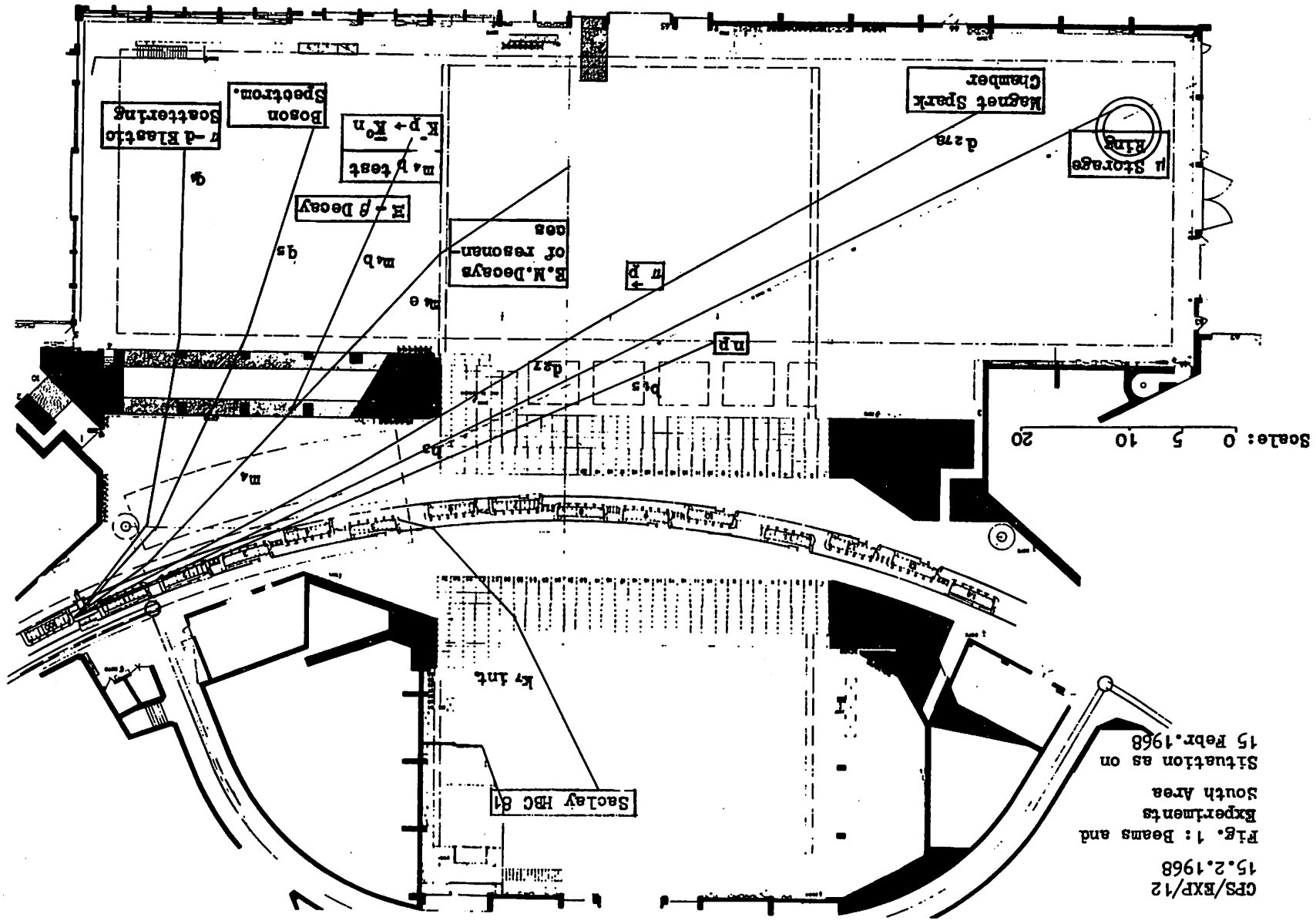
*) The exposure of K^+ at 4.6 GeV/c replaces the exposure originally planned at 3 GeV/c.

PHYSICS III EXPERIMENTS APPROVED BY NPRC

Table 3

EXPERIMENTS FINISHED IN THE PERIOD 1.11.1967 TO 15.2.1968

Area	Expt. Code	B e a m		Description of Experiment	Groups	Approved Nr. of shifts or particles	Date of Approval by NPRC	Status
		Code	Description					
I	E52	α_2	Ejected protons ≥ 10 GeV/c	Study of heavy fragments emitted in the interaction of high energy protons with complex nuclei. Detectors: Emulsion, spectrometer	CEM, Clermont-Ferrand, Valencia, Warsaw	3 shifts	17.3.1965 (12.1.1966)	Analysis
V	P3	inter-nal target	20 GeV/c protons	Measurement of Li, Be and B production cross sections	Bernas, Gradsztajn, Yiu	20 hours	8.2.1967	Analysis

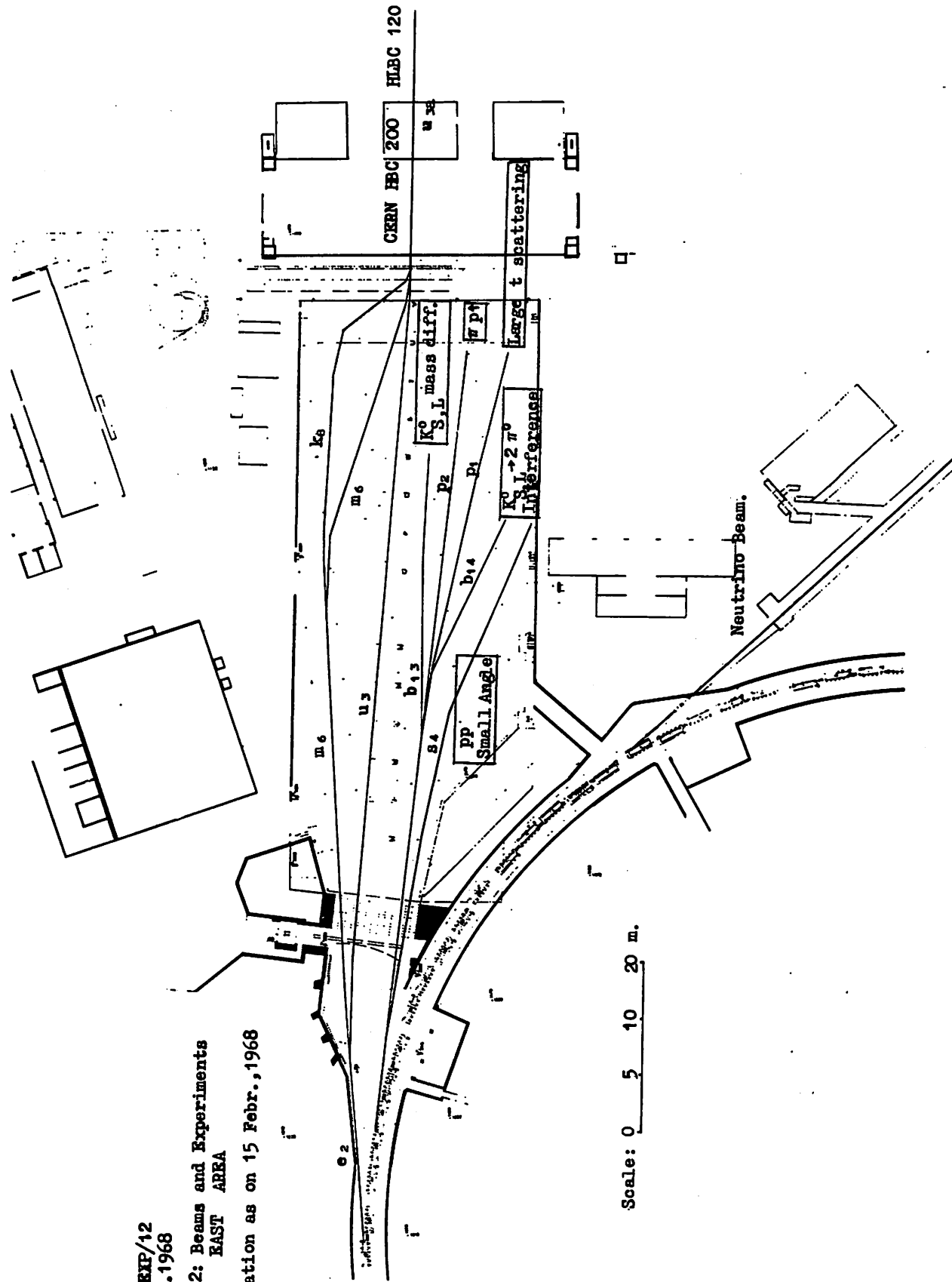


CFS/EXP/12
 15.2.1968
 Fig. 1: Beams and
 Experiments
 South Area
 Situation as on
 15 Febr. 1968

CFS/EP/12
15.2.1968

Fig. 2: Beams and Experiments
EAST AREA

Situation as on 15 Febr., 1968



次に高松氏の作った図を引用しよう(図5.1~5.4)。これ等は泡箱用及びエレクトロニクス実験用の分離された(純粋な) K^\pm ビームのエネルギーが時と共に増えて行った様子を
示したものである。これは実験用のビームの用意, 特に粒子分離器の進歩(と測定器の発展)
を如実に反映するものである。これ等の図を見れば, CERNやBNLの陽子シンクロトロンは,
まだその物理実験に対する Potentiality を十分に使い切っていないことが明かとなる。
これ等のシンクロトロンの(I-7, I-11で述べたような)改造計画が完了し,
加速される陽子ビームの強度が現在値の数10倍になれば, これ等のシンクロトロンの物理
学的有効性は飛躍的に増大することになる。従って素研の陽子シンクロトロンが, たとえ
40 GeV の原案のままであっても, properに作られれば, 物理的成果を挙げるのに不足は
全くないのである。問題はむしろ高エネルギー実験物理学者が, 素研においてそのシンクロ
トロンを有効に使いこなし, 立派な実験をするかどうかにかかっている。

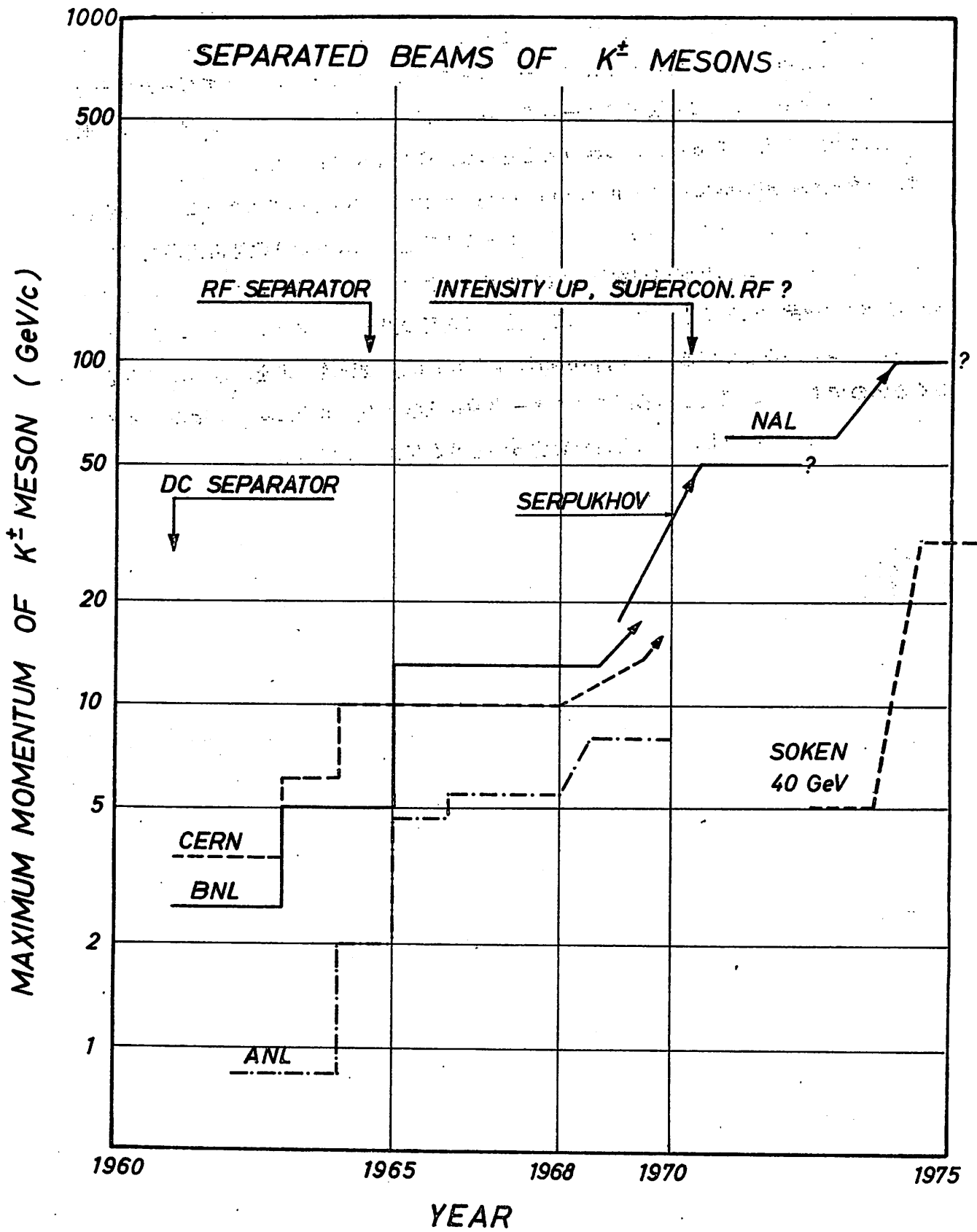
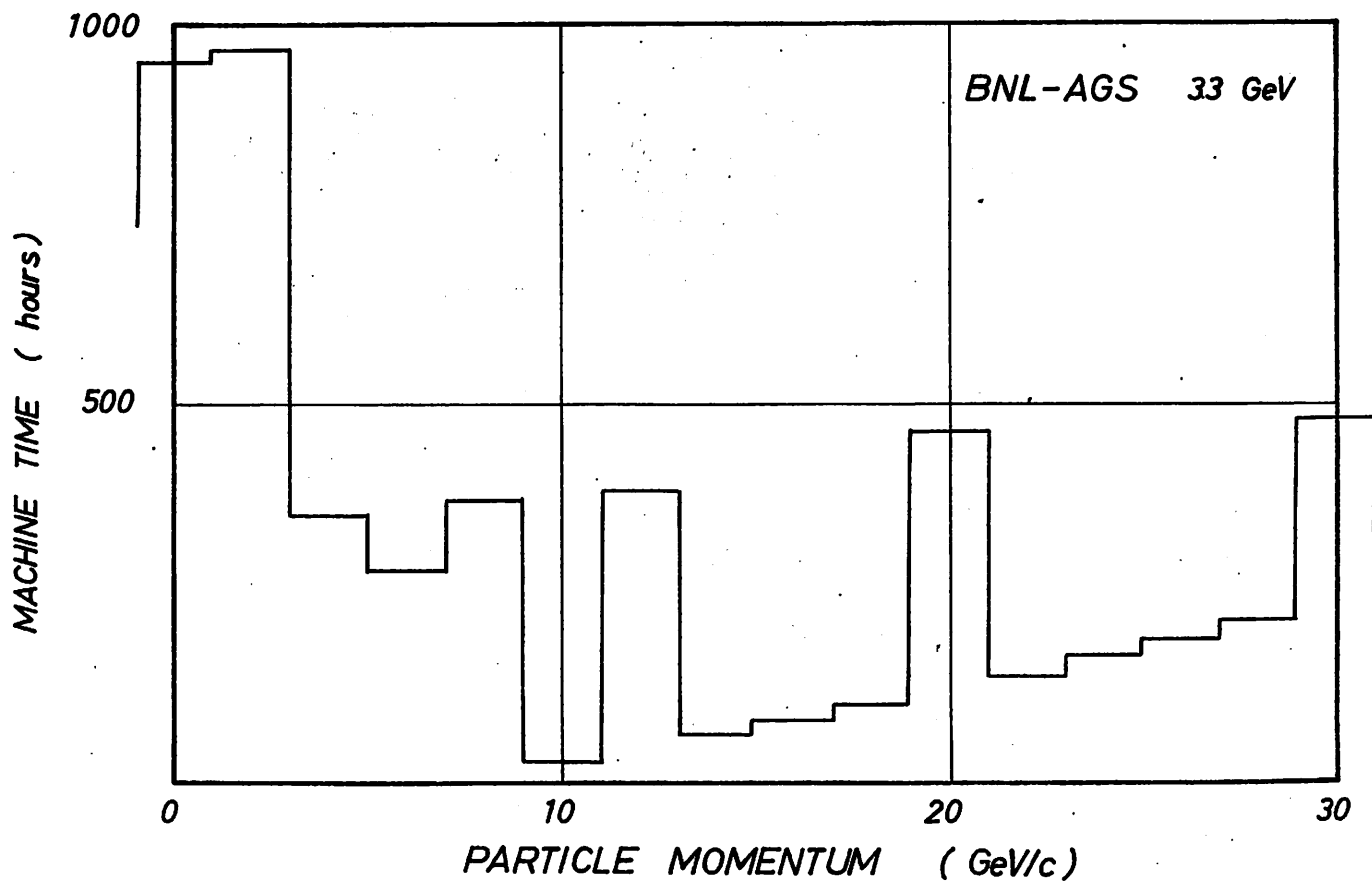
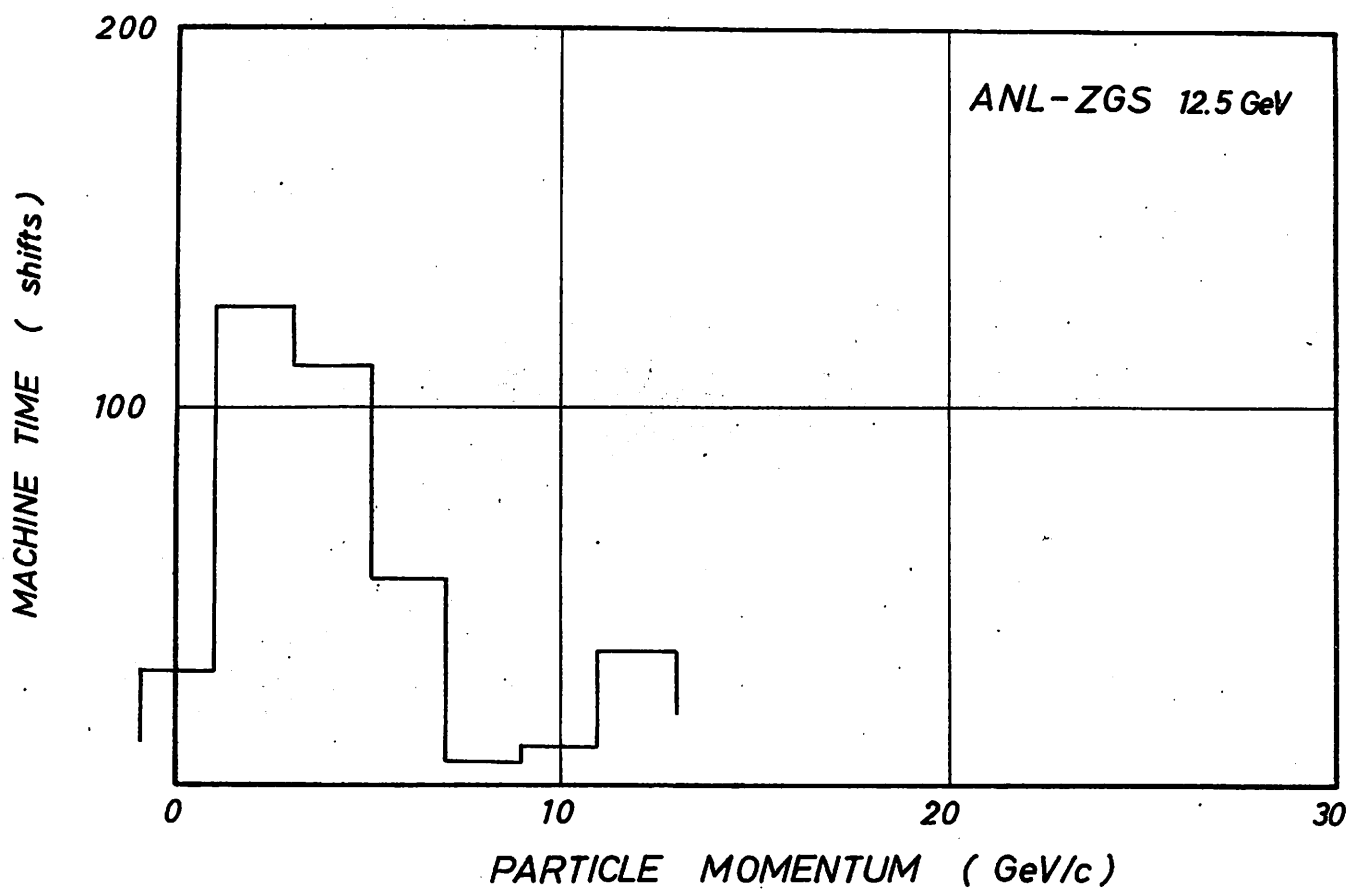


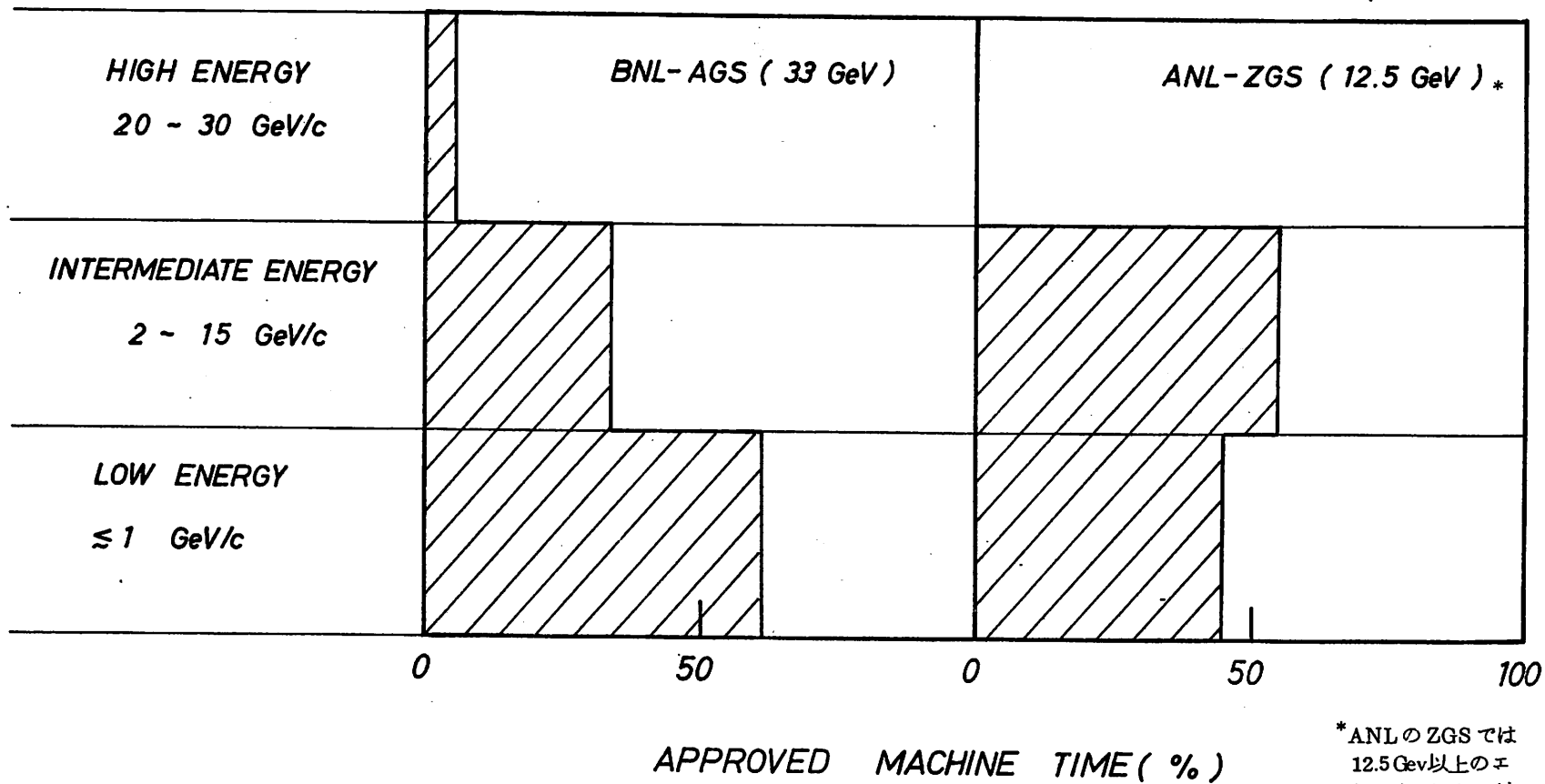
図 5-1

粒子分離器によりつくられた K^\pm ビームの運動量が年とともに上昇する様子を示す。

1965 APPROVED EXPERIMENTS
— COUNTERS & SPARK CHAMBERS —



1965 APPROVED EXPERIMENTS
 — BUBBLE CHAMBER —



— 82 —

APPROVED MACHINE TIME (%)

図 5 - 3

*ANLのZGSでは
 12.5 GeV以上のエ
 ネルギーのビームは
 得られない。

BUBBLE CHAMBER EXPERIMENTS

WITH K^\pm MESON AT BNL-AGS (33 GeV)

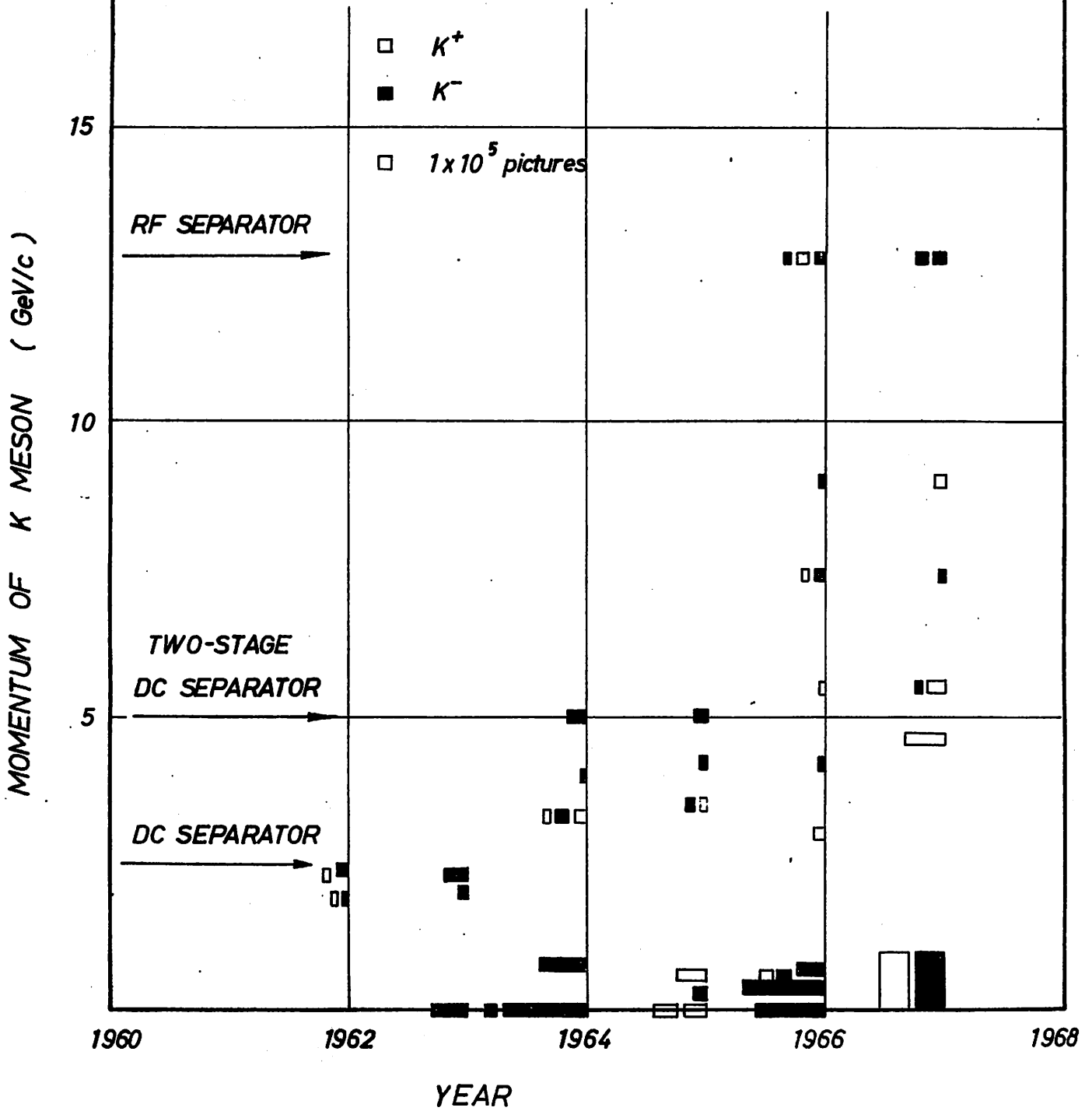


图 5 - 4

泡 箱

次に泡箱についてのべなければならない。素研の準備作業においては、大型水素泡箱製作の中間ステップとして75cmの水素泡箱を製作中であったが、装置がほぼ完成し目下テスト中である。1968年度中に核研高エネルギー部に75cm泡箱を据え付ける。そしてやがてその電子シンクロトロン(1.3 Gev)よりのr線で照射されるはずである。

泡箱の驚異的な“進化”についてI-15にくわしくのべたから、こゝでは世界の主な泡箱のリストをあげるに止めよう(表5・4)

尚泡箱を用いたCERNでの実験のリストはすでに表5.1~5.3の中に示しておいた。

表5・4 世界の主な泡箱の一覧表

研 究 所 (略号については 巻末註をみよ)	稼 動 中 の も の	建 設 中 の も の	計 画 中 の も の
L R L	25インチ C		
S L A C	40インチ C (SO~70KG) 82インチ C (LRL所有のもの)		
A N L	30インチ C 40インチ HL 40インチ C 10インチ He (SOテスト用)	12フット C(SO20KG)	
B N L	31インチ C 30インチ C 80インチ C	7フット C(SO22KG)	14フット C(SO30KG)
C E R N	2m C 1.2m HL	3.5m C(SO35KG)	
R H E L	1.5m C 0.8m He		1.5m C(SO 70KG)
Saclay	0.81m C	1.5m ϕ ×4m C* 1.9m ϕ ×4.8mHL**	
D E S Y	0.8m C		

- * Mirabelle, Serpukhov 高エネルギー物理研究所に運び、その76 Gevシンクロトロンよりのビームを用いて研究につかわれる。
- ** Gargamelle, CERNにはこばれ、中性性微子反応その他の研究に活用される。

泡箱の大きさと中につめる液体による区別を示した。

G (Gryogenic: 低温用) とあるのは、液体水素、液体重水素、又は水素とネオンの混合液体をつめることのできるものである。

He (ヘリウム) とあるのは、液体ヘリウム専用のものである。

HL (重液体) とかいたものは、プロパン、フロンなどの重液体をつめる泡箱をさす。

(SO ** kG) とあるのは、その泡箱に ** kG (キロガウス) の超電導磁石がつくことを示す。

尚、ソ連の泡箱については詳しいことが判りかねたので、この表では省略した。

高エネルギー研究所の(経常的な)運営費と研究費

日本に限らず、どの国に於ても金持や会社は大学・研究所に、名前を冠した或は立派に名前をほりつけた研究・管理棟、講堂、図書館など目に見える建造物を寄贈するのを好み、“形”の残らない実験費や運営費を寄附しようとするのは稀である。各国政府の支出に於てさえこのような傾向は長く広く存在していた。しかし欧米の先進諸国政府は、特に第二次大戦後、基礎科学の重要性にめざめ、不動産ならざるものへの研究投資の必要性を認識し、それを彼等の科学政策に反映させている。独り日本の政府だけが、先進諸国中において異常に認識不足なのである——認識はしているのだろうが、実際の予算の細目を見れば、このように判断せざるを得ない。

そこでこれについてささやかな具体例を示そう。原子核研究所の 1.3 GeV 電子シンクロトロンは 4 億円近い費用を投じて建設されたものだが、1 年間のシンクロトロン維持費・実験研究費は合計して 4,000 万円に満たない。同じ程度の電子シンクロトロンであるスエーデンの Lund 大学のもの (1.2 GeV) は維持費・研究費を合せて、年間約 8,000 万円を得ている。Lund の電子シンクロトロンは Lund 大学専用 (一年に 2~3 組の実験をしている) であるのに、原子核研究所の電子シンクロトロンには日本全国の高エネルギー実験研究者が共同利用しているのである。Lund 大学と日本の研究者の 1 人あたり実験費の開きは途方もなく大きいといわねばならない。

この例をあげたついでに、世界の大加速器をもつ高エネルギー研究所の加速器の建設費、年間維持運転費、年間実験研究費の表を示しておこう (表 5.5 ~ 5.7)

素研計画に対して、その陽子シンクロトロン建設費だけなら日本でも何とかなるのだが、シンクロトロン完成後年間凡そ 50 億円もの維持・運転・研究費が必要であるというのは、専門外の人々にとって頗る納得しにくいことのようにである。素研においてシンクロトロンを

作るからには、それを研究に活用するのでなければ、ピラミッドと同じくモニュメントをたてたことになろう。この意味で、表 5.7 に示した陽子加速器をもつ諸外国の高エネルギー研究所の年間維持費・研究費の欄をよく見比べていただきたい。

表5.5 electron synchrotron をもつ主な研究所

研究所	加速器	実際に出した* エネルギー	始めてビーム を出した時	改造の 終わった年	加速器本体 の建設費	加速器と附帯施 設の総経費	年間運転費	年間研究費
Bonn		2.3 Gev	1967年 3月		8.1 MDM	1.23MDM	0.5MDM	1.5MDM
Hamburg	DESY	6.25	1964年 2月25日		\$7.5M	\$27.5M	\$10M	\$1.25M
Frascati		11	1959年 2月9日		\$1.5M	\$2.0M	\$0.125M	
Tokyo(核研)		1.3	1961, 1966		~\$1M*	~\$2M*	~\$0.1M	\$0.01M
Lund	LUSY	1.2	1960年 12月		\$0.6M*	~\$0.85M*	~\$0.2M including staff	\$0.08M excluding salaries
Yerevan	EKU	6	1965年					
Tomsk	Syrius	1.3	1964年				0.18M rub.	0.13M rub.
Daresbury	NINA	5	1966年 12月2日		£2.2M	£4.5M	£3.0M	
Harvard	CEA	6.28 (6.1)	1962年 3月7日		\$1.2M	\$2.5M	\$3.5M	
Cal Teck	CES	1.53 (1.5)	1952年, 1962年		\$1.6M		\$0.3	
Cornell	CES	2.1	1964年, 1965年 4月 12月		mod. from 1.3Gev= \$0.3M		\$0.25	\$0.35M
Cornell		10			\$6.1M	\$11.5M	\$1M	\$1.2M

*サラリー
を除く

*建物を
除く

* 註 () の数値はエネルギーの design value

表 5.6 電子線型加速器をもつ主な研究所

研究所	加速器	実際に出したエネルギー*	始めてビームを出した時	改造終了時	加速器本体の建設費	加速器と附帯施設の総経費	年間運転費	年間研究費
Orsay (ENS)	DLA	1.25 Gev (2.3 Gev - 1968)	1959	1965	70 MFF	100 MFF	12 MFF*	12 MFF*
Kharkov (PTI)		1.8 Gev (2)	1964					
Stanford	MarkIII	12	1950 (80 ft) 1952 (200 ft) 1960 (310 ft)		\$ 3.5M	\$ 7M	\$ 0.8M	\$ 1.6M
"	SLAC	20.16 (20)	1966			\$ 114M	\$ 11.3M (FY68)	\$ 10M (FY68)

* サラリーを含まず

* 注 () の数値はエネルギーの design value

表 5.7 proton machines を持つ主な研究所の例

研究所*	加 速 器	はじめてビーム を出した年	改造の 終わった年	エネルギー	加速器本体 の建設費	加速器と附帯施設 の総経費	年間運転費	年間研究費
BNL	cosmotron	1952 - 67		2.96Gev	\$ 7.5M	\$ 10.5M	1967年末より shut-down	
LRL	bevatron	1954 , 1963		6.2	\$ 7.5M	~\$ 30M (FY68)	~\$ 5M	~\$ 10M (計算費を含む)
BNL	AGS**	1960		33	\$ 30.65M			
CERN	CPS	1959		28	120M·Fr·Sw (1954-59)	200M·Fr·Sw (1954-59)	30M·Fr·Sw·	52M·Fr·Ws· (CERNのみ)
ANL	ZGS	1963		12.7	\$ 30M	\$ 50M		
RHEL	Nimrod	1963		7.0	£ 30M (operation 開始まで)		£ 6M	
P-P	PPA	1963 , 1965		3.0	\$ 8.5M	\$ 30M	\$ 4.7M	

* 研究所の略号は巻末註を見よ

** AGS-BNLの当初建設費は ~\$30M

6 高エネルギー研究所 よもやま話

6. 高エネルギー研究所 よもやま話

BNL, ANL, LRL, SLACなどの米国の高エネルギー物理学の研究所のことにもふれるけれども、何といても筆者が長く滞在したCERNが主になっているので、CERNよもやま話とした方が、タイトルとしては適切であったかも知れない。よもやま話とはいふ条、高エネルギー物理学研究所にとって（従って我々の素研にとっても）極めて重要なことを随所に含めたつもりである。

(a) CERNのシンクロトロンは $0.1 \mu\text{A}$ をこえる強度を持つし、Stanfordの2 mile machine(2マイルの長さを持つ電子線型加速器、20 GeV)は $20 \mu\text{A}$ の平均強度(デザインは $60 \mu\text{A}$ であった)をもっている。(IICのべたようなpion factoryができれば取扱うビーム強度はこれらの既存の加速器の数10~数千倍となる。)そこで高エネルギー研究所では、現段階においてさえも、加速器、測定器等器機、機材、物品に対する放射線対策、人員に対する放射線管理、健康管理は第一級の重要事項なのである。

加速器、実験室のまわりに放射線管理区域をもうけ、運転・研究要員以外の人々の立入りを規制し、研究所外での放射線量が自然のもの2倍以下であるようにつねにおさえるなど、ルーティンとして不断につとけられる業務がある。その他不幸にして生じた放射線事故(汚染)に対する用意がつねにととのっていなければならない。

なお加速器屋や実験家は研究熱心のあまり、放射線の少々の漏洩を意に介することなく実験を続行しかねない。それ故放射線管理事務を加速器や物理実験の部門と独立した権威ある部局の担当しておくことが必要で、どこの高エネルギー研究所でもそのようにしている。

即ち危険と判断されれば所長命令で加速器運転や原因となる実験の中止をさせるのである。

血液検査など放射線を受ける人々の健康管理のためにも、又数百~(幾)千人の研究所員、客員、出向者の健康とfirst aidのために研究所に(常勤又は非常勤の)医師を配置した管理(又は看護)室がある。

(b) 高エネルギー研究所は危険物を大量に取扱うところでもある。泡箱に大量に用いられるプロパン、泡箱や標的用に大規模に用いられる液体水素をはじめ、取扱者に一定の資格取得を要求されるものが多い。高電圧・大電流・超低温・超真空等の操作もその部類に属しよう。

このように日常業務としてさえ危険をはらむものを多数且大量に扱うので、それらの取扱いにあたって万全の注意と不断の点検が必要であり、又不慮の事故に対する対策をたてよおかねばならぬ。一例をあげれば、大量の水素を研究所内で移動させるとき、近くにいる所員に対す

る注意を徹底させておかねばならない。又プロパンや水素が爆発したり火災発生したときに備えて、研究所は消火（とくに化学消防）能力をもっている必要がある。本格的な火災に対しては、最寄の都市の消防力にたよるにしても、消防車のくるまでに時間がかかるから、ある程度の消防力をもつ必要があるわけだ。CERN は教台の消防自動車をもっている。

原子核研究所も含めて、大学の原子核、高エネルギー研究施設では、加速器周辺や実験室内外のシールド用のコンクリートブロックの移動を研究者等が実行しているのがふつうである。素研のように大規模になると、コンクリートブロック等のシールド材料の量と移動は桁ちがいのものとなるので、専門の技能者にまかせなければならない。たとえば大実験室内には教組（乃至10組）の各種実験がひしめき、その間におかれるコンクリートシールドの配置、移動は素人芸ではできないばかりでなく、すでにつまめたコンクリート・ブロックの積み方の詳細を知らない他人がうごかすのは（幼稚園での超特大積木を重ねる遊戯とはちがって）大変危険である。そういうわけでそのための専門職がいることになる。

(c) 輸 送

上でコンクリートブロックの移動について述べたが、高エネルギー研究には多種多様の重量物巨大物品を工場から研究所に輸送し又研究所内でもしばしば移動させる必要を生ずる。

実例をあげよう。CERN の2 m水素泡箱の電磁石は300トン余りあるし、1967年5月31日CERN に運びこまれたガルガメル（12 m²の大型重液体泡箱）の電磁石のbase-plate^{*}だけでも140トンに達した。これを製作した工場よりCERN迄輸送することだけでも並々ならぬ一大事業である。

一寸考えて直ぐ判るようにCERN迄これを汽車や汽船ではこぶことは論外で、マンモストレーラーにつんで道路の上をはこぶのである。^{**} そのときに道路や途中の橋がこの重量に耐えられるかどうか、又巨大な物をはこぶ時には鉄道、陸橋の下やトンネルを通るときに高さ、巾は大丈夫であろうか、又道路工事や最近路肩のゆるんだところはないかなど、最近の道路情報を多方面にわたって詳細に把握していなければ、このような運輸作戦を遂行できないことになる。

* ガルガメルの部品中最も重いものである。タイヤを20以上つけたトレーラーではこばれて来た。

** 例として、CERNの新しい西実験室（床面積は10000m²）に備えつけられる、40トン及び60トンをリフトするクレーンの運輸作戦をあげることができる。このクレーンは61.5 mのスパンをもち西実験室内を160 mも蹴けるように据えつけられ、二つを連動させれば100トンのものを動かす能力をもつ。ミラノ市のBartolomeis製。その一つのブリッジの重さは200トンである。この二つのクレーンのコストはミラノ-CERN間の運送費、組立費、テスト費を含めて80万スイスフランであった。クレーンは3つの部分に分けて、1968年5月はじめCERNにトレーラーではこびこまれた。

これに関連してCERNの運輸能力について述べれば、CERNの運輸部門は若干の乗用車、バス、消防自動車、救急車を含めて各種トラック多数を持ち、総計で80数台の“自動車”を持っている。CERN内に巨大なガレージと整備工場を備えている。CERNは国際機関だから加盟各国より公平に各種器種を購入するので、CERNの運輸部門は加盟各国の最近の道路事情をいつも的確に把握することにつとめ、上にのべたような運輸作戦を自らの部門又は他の運輸会社と提携して実行するのである。重量物、巨大物のときには、工場とCERNをむすぶルート決定だけでも並大抵のことではない。場合によっては道路や橋の補強作業までやってのける必要がある。

こゝで数年前のことだが一つのエピソードを追加しておこう。CERNの運輸部長は小柄の愉快で元気なドイツ人である。彼は第2次大戦中北アフリカ戦線でアメリカ軍の捕虜となり、アメリカ南部のキャンプに収容されて何ヶ年かを過した。そのとき英語をおぼえ、CERNができてからそこの運輸部門につとめるようになったのである——CERNで働く、年輩のドイツ人の学者、技術者、事務官の多くがこのような経歴をもっている。或時ジュネーブ近郊の高架高速道路で真夜中に自動車事故があり、高速道路をさへえる柱が折れて危険になった。夜のこゝとて道路工事の専門会社を呼び出しても急の間に合わず、ジュネーブの警察は手のほどこし方がなくて、CERNに電話し助けを求めた。ドイツ人の運輸部長はよしきたとばかり手をうつことにした。まづCERN所長に電話して事情を説明し出勤の許可をとった。シールド用の大コンクリートブロック多数をトラックに積み込み、ブロックを積み上げるのにつかうリフト車と一諸に事故現場に急行した。コンクリートを積み重なってまたぐ間に道路につっかい棒をし、高架高速道路は車の通行を再開できた。

このあっぱれな働きは翌日のジュネーブの新聞に写真入りで報道され、関係諸官庁より感謝された。

案研でもCERNの例ほどではないにしても運輸は大事な仕事になろう。但し次のような点は一考に値しよう。後進国援助は先進諸国のさそうところであるが、時として日本の方がアメリカよりずつとるまくゆく例がある。アメリカでは万事能率的に機械化されており、一寸した作業にも専用の道具（自動車につけている）をつかわないとアメリカ人には手も足も出ない。たとえば道のない人里はなれた所に発電所をつくったりするときとか、そこまでに高圧線用の鉄柱をたてたりするときなどは、アメリカ人には使いたれた高級な道具がなくては手におえないようであっても、日本人には近くで手に入るものをうまく使って何とかやってのけてしまう。——テコとプリミティブな滑車だけで数十トンの石製のモニュメントをうごかしたり積みかさねたりした古代東方文明期の技術者を思い出すのがよからう。皮肉に云えば、このごろの先進国の人間は豊富で多様な機械の存在になれすぎて、ほんの少ししか道具を使わないでやっての

ける昔の有用な技術をすっかり忘れてしまったようだ。人が主なのでなく、機械に使われているみたいだ——この例からすると、日本では、そんなに大げさに考えなくても、先進技術をもっていてしかも産業革命以前の器用さを多分に残しているのだから、工場から素研への重量物や巨大物品の運搬について心配しなくてもよいのかもしれない。

(d) 研究所内の transportation service と mailing service

素研やCERNはせいぜい100ha程度の広さで、中途半端なのだが、BNLやANLのように高エネルギー研究部門を含めて広く原子力全般を研究する大研究所では敷地が何百ヘクタールとか何千ヘクタールにも達し、研究所内の人員輸送、書類、メッセージ等の交換のために所内に定期的なバスを運行させたり、研究所々々のタクシー・サービスを行い、所内メーリングサービスを実施しなければならなくなる。このようなサービスを完備させなければ、研究、事務の能率向上はのぞめない。例えばある部品を倉庫に請求したり必要な書類を事務局からもらったり、本や雑誌を図書館から借りたりかえしたりするにも電話や所内メールで申し込めば、所内メールによって現物がとよくという寸法である。

高エネルギー研究所は、広い敷地のためと、安全対策から都市からかなりはなれた所に作られることが多い。そうすると朝夕の通勤のための交通機関をどうするかも大きな問題である。アメリカや西ヨーロッパでは大抵の通勤者が自分の車をつかうので(日本でもだんだんそうなってきたから)問題はないのかもしれないが、やはり車のないものやしばらくの間研究所に研究上、事務上の用件で来訪するもののために、研究所と最寄都市(又は交通機関)とをむすぶ連絡バスを考える必要が生じよう。

VIPの来訪に当っては近くの空港や汽車の駅まで研究所より専用車(又はタクシー)を派遣せざるまい。

X X X

CERNでの筆者の経験を記しておく。

10年前はGeneve市の西端からCERNまで(約7~8km)交通信号もStopサイン(のある所)もなく車で10分と少々で行けた。しかしGeneve市からCERNまで(実は、CERNのとなりがフランス国境の税関で、Geneve駅よりそこまで)市バスがあったのだが、間隔がきわめて長くとてもCERNへの通勤につかえるようなものではなかった。そこで通勤時には頻繁に、それ以外の時間にも、Geneve駅とCERNの間をCERN所有のマイクロバスヤステーションワゴン(日本でいういわゆるバン)が定期的に行き交っていた。

数年前 Geneve 市と CERN のほぼ中間の辺に (Geneve の異常な人口増加ともいえるほどの住
宅ブームによって) 100 棟をこえる瀟洒なアパート群が出現した。衛星都市メイランとよば
れている。そのおかげで市バスがきわめて頻りに Geneve 駅、メイラン市、メイラン税関
(CERN 入口のすぐとなり) の間を往復することとなり、CERN にとっても非常に便利
になった。しかし Geneve 市と CERN をむすぶメインストリート (メイラン街道といひ、
Geneve よりジュラ山脈を超えてパリへ行く幹線道路の一つ) はメイラン市住民の車のおかげ
で Geneve 附近屈指の忙しい道路となり自動車事故の続発でも悪名高い通りとなってしまった。
そのため交通信号が渋滞でき、今ではラッシュには CERN-Geneve 市西端の間を 20 分でゆ
ければ幸という有様である。

(e) 自動車—このなくてはかなわず又実に厄介なもの—

CERN やアメリカでの話

外国へ数ヶ月～1年にかけてゆくとき、頭痛のたねは車である。とくにアメリカや欧米の郊
外にある高エネルギー研究所に行く時、車がなくてはかなわないのに、短期間買って又売
るのは損である。レンタカーをすれば結構高いものにつく……。少々の損を覚悟すれば何でもな
いことだが、“貧亡国”日本より出かけてゆくと万事つましく考える習慣が身につきすぎてい
るというわけだ。しかし欧米の人間も中々勘定高いからこんなことについても結構考えるわけ
だ。ヨーロッパはまだまだといった所だが、アメリカの高エネルギー研究所では何台かの乗用
車を研究所がもっていてそこへ実験に来たり又は重要な仕事できている人たちに短期間貸して
くれる。又研究所と交渉の深い他の (高エネルギー) 研究所 (のある都市) に何台か所の乗用
車を配置しておきビジネスと研究用務で出張する所員用に供して能率化につとめている。

(f) 学術的会合、その他 service 関係

高エネルギー研究所は又学者、技術者の国際交流の大きな舞台である。そこには、CERN
の如き最高の施設をもつ例についてみると同時通訳の設備を持ち、すべての席にイヤホンと
マイクロホン、灰皿を配置したすばらしい講堂があり、きわめて頻りに公式、非公式の国際的
学術会合が開かれる。外国から来る多数の会議参加者のために近くにホテルの予約をし会議中
朝夕の研究所とホテル間のバスサービスをアレンジし、又参加者帰国にあたっての飛行機、
汽車の切符や座席の予約の便宜をはかるのも高エネルギー研究所の活動の一つになる。そのた

* 例へば MIT 所有の車がサンフランシスコ、スタンフォード地区にある。

め、例えば CERN では研究所内に旅行会社* の出張所があり、郵便局、銀行** も支店を設けている。銀行は所員のサラリー等の支払（銀行の口座に払いこむようにしている）や客員への旅費、謝金の支払事務の他に、CERN の会計の扱う大額予算の処理を大いにたすけ、又 CERN と外国の間を往来する人々のために外貨の交換をする。郵便局の役目はいうまでもなからう。CERN はとくに外国との mail の発送、受理が多いので Geneve 当局は CERN だけのために一つの郵便局をもうけたのである。

(g) 高速交通機関への便

国際空港や交通の要衝に近いことも高エネルギー研究所にとって重要な点である。RHET Orsay, Saclay, CERN, DESY, LRL, ANL, NAL, BNL^{***} いずれもこの条件をみたし、とくに国際空港へは数 km ~ 数 10 km 以内の所にある。国内、国外から多くの研究者その他高エネルギー研究所に（又はそこから）出張してくる（又はしてゆく）ものにとって近くに空港のあることは欠かせないことなのだ。中堅の物理学者が大学の実験チームをひきいて高エネルギー研究所の実験しにくるとき、しばしば大学での duty を果しつつ実験を指揮するために、数ヶ月間の実験準備期間、数ヶ月の machine time, (更に若干の data 解析期間) の間、大学と高エネルギー研究所の間を飛行機（等高速交通機関）を最大限に利用して、1か月に数回の頻度で往復することは珍しくない。日本でも、東海道新幹線のおかげで名古屋や京阪神の大学人たちは全く気易く東京での会合に呼び出され、忙しく往復して（この頃事故の多い）国鉄に奉仕しているのに似ていると云えようか。

学会、研究集会に限らず、研究上、事務上の用件で出張したり、或は遠く、近くの大学、研究所、役所、会社などから高エネルギー研究所へくる者は実に多い。飛行機等の高速交通機関の利用（及びとくにヨーロッパの高エネルギー研究機関では外貨交換）の頻度は恐しく高いのである。CERN などが所内に旅行会社（や銀行）の支店をもつのは全く実用上どうしても必要だからなのである。

(h) CERN での健康保険、通関、外交特権など

CERN では高エネルギー研究者はともかくとして、技官、技術員などで放射線にさらさ

* Wagon-Lit Cook の支店がある。

** スイスでは特定銀行が利益を得ては困るので、例えば Geneve にある国際機関に夫々別のスイス銀行が支店を出している。CERN には SBS が入っている。

*** 研究所の番号については巻末一覧表をみよ。

されるものやその他危険物を取りあつかう人々に対しては、危険手当や傷害、事故の起ったときの救急対策・保障などについて十分な配慮をしている。CERNは国際機関なので、Iにも触れておいたように、いろいろな機械、部品、道具を公平に加盟各国より購入せねばならない。このようにスイス以外の国から(CERNのある)スイスにもものを持ち込むときに必ずおこるのが通関の問題である。その他にも加盟国からvisiting teamが実験装置一式をCERNへ持ち込むとき(及びCERNから母国にもちかえるとき)にも国境を通過しなければならない。CERNは加盟各国政府と特別のとりきめを行い、このようなときに、duty freeに“もの”の国境通過ができるようにしている。CERNの場合このような通関に対する特別措置は物品のみならず人にも及んでいる。CERNで働く人々のみならず、CERNに短期間(たとえば1年)滞在する客員研究員に対してさえ、彼(女)及び彼(女)の家族がCERNにつとめている間に必要なpersonal effect及びある制限内の家具、家庭用耐久消費財のスイス国内持ち込みに対し、スイス政府は通関料をとらないことになっている。又CERNの所員(とCERNがサラリーを支払う客員)の給与に対してスイス政府は(スイス市民をのぞいて)課税しないことにスイス政府、Geneve州庁が同意している。

CERNは国際機関なのでそのスタッフには外交官に準ずる特権がみとめられている。(CERNだけでなくGeneveにある他の国際機関、国連、WHO・ILO等々についても同様である。)外交官特権は実に古典的な代物(だが持てば大へん結構なもの)で、給与のよの上のものほど外交官特権は多くなるというわけである。そこでCERNの上級職員——permanent staff: 即ち任期なしでつとめているもの**——はどこのも——酒、タバコ家具、電気器具、自動車等々——でも無税且税関フリーパスで手に入れることができる(もちろん物によって一時に入手できる量に制限があったり車のように3年に1度限りといった制限——それもその人のランクでちがう!——がある)。

CERNのpermanent staff**は2年に1度家族ともどもhome leave***なる特典が与えられる。即ち本人とその家族全員の往復旅費をCERNより支給され本国へ帰って母国との接触を緊密にすることが出来るのである。

CERNで、ある期間以上働く人々に対しては、CERNが赴任と帰国の旅費(本人だけのときと本人及びその家族のときとがある)及びある範囲内の家具、日用品の運搬費を支

* CERNが保険会社と特に契約をむすび、所員のためにいろいろな保険を用意し、保険料の相当部分をCERNが補助している。所員の子弟のための教育補助もある。

** permanentでない所員にはすべて1~3年の任期がついている。

*** このようなhome leaveはすべての国際機関が採用している所である。

払っている。同様なことをアメリカの著名な高エネルギー研究所も実行している。

(i) 住宅、宿舎

都市からはなれた高エネルギー研究所においては、所員のための住宅とか（半年～1年の）客員研究員、短期（数日或は数週間～数ヶ月）訪問者のための宿泊施設を——近くに十分な施設が得られないことが多いので（日本の原子力研究所の初期を思い出してみるのがよからう）そういう場合には——研究所側で（直接又は間接に）用意しなければならない。LRLは親元大学の構内にあるし、カリフォルニア（州立）大学は古い大学で、ホテル、下宿等は大学のある町（パークレイ）にいくらでもあるから問題はないが、ANLやBNL及びPrincetonのInstitute for Advanced Study（理論的研究だけの私立研究所）などでは宿舎はきわめて完備している。即ちこれらの研究所はfurnished apartmentを沢山持っていて、本人及び家族が旅行カバンをさげて、宿舎に着けば、食料品さえ買いにゆくとその日から家族の生活をはじめられるようになっている。

それに反してCERNでは発足当初から所員用住宅や訪問者用宿泊施設をCERNがもつ事を考えなかった。それは、Geneveよりそう遠くないこと、CERNの事務にHousing Serviceがあつてホテルやアパートをさがす世話をする専門家を置いていたことにもよる。尚フランス人（たち）は彼等の気質から次のように感じた：CERNの所員用のアパートや団地に入つて昼CERNで一しよに働いていた連中と、夜家へ帰ってまで窓をあければ顔を合わせるのとはごめんだというのである。それで、彼等はCERN発足のころ、CERNが所員用住宅をもつことに強く反対したのであつた。その後Geneveは異常な人口増加をみて、住宅事情は悪化し、CERNへ新たにくる所員・客員研究員たちは手頃な住宅、アパートをみつけるのに大変な苦勞をした。その結果CERNもついに御興をあげて、数年前からアメリカ式にfurnished apartmentをもつことにした。

(j) CERNについての種々のデータ

新しいものができる、子供の雑誌にはそれに関する色々な数値を表記して印象づける。その例にならつて高エネルギー研究所の様子を知る目安として、CERN Courierよりとつた2つの表をのせよう。素研の規模もCERNに匹敵するものだから、これらの表は一応の参考となろう。

FACTS AND FIGURES FROM THE PROGRESS REPORTS

From November 1963 to May 1964

- The number of CERN staff and supernumeraries increased by about 7 % bringing the numbers on 15 May to
1518 staff members,
319 supernumeraries
69 fellows and research associates,
255 visitors and students,
2233 altogether.
- The total consumption of electricity was 32 620 000 KWh, with a maximum demand of 18 265 kW.
- The amount of water used for cooling was 1 980 000 m³.
- The proton synchrotron operated for 2417 hours, divided, on average, each fortnight into 222 hours for physics and nuclear chemistry, 34 hours for development, 12 hours for starting up, special tests and breakdowns.
The average beam intensity was 6.8×10^{11} protons per pulse.
- The synchro-cyclotron operation included 2018 hours for physics, 369 hours for development, 256 hours for maintenance, 131 hours for faults and repairs.
- The liquefying plants in CERN produced 72 000 litres of liquid hydrogen, 300 litres of liquid helium; outside suppliers provided 630 000 litres of liquid nitrogen.
- The Central workshop worked 56 000 man-hours, produced equipment valued at 1 045 000 Sw. fr.
- The West workshop worked 31 000 man-hours, produced equipment valued at 516 000 Sw. fr.
- The transport service travelled 225 000 km, carried 2200 passengers, moved 104 000 tons of material.
- Work with the 7090 computer increased from 300 to 500 hours per month. in May the volume of work had reached 300 jobs per day.
- The Purchasing Office dealt with an average of 1775 orders per month.
- Loans from the library averaged 1335 per month.
- In the main auditorium and Council chamber 470 lectures were given, 1300 slides and films were shown, 73 km of magnetic tape were recorded.
- The volume of translation work increased by over 30 %.
- Throughout CERN there were 14 'disabling' accidents, causing 189 last days of work, or 7.42 days per 100 000 worked hours.
- The Film Badge Service for personnel radiation control covered 1050 people for regular monthly control, 150 for weekly control, 350 for fast neutron and high-energy radiation.
- The number of visitors to look around CERN was 3000, mostly in the course of organized Saturday visits.
- Monthly distribution of CERN COURIER reached 2642 copies in French, 1811 copies in English.
- Among the responsibilities of the General Safety-Group are 150 cranes.
- The cleaners now maintain on a regular basis 77 000 m² of floor area, 50 000 m² of windows.
- Three members of the MSC Division presented reports on synchro-cyclotron development at CERN at a Conference on high-energy-cyclotron improvements at Williamsburg, Virginia, U.S.A., in February. They also made contact with members of the future Space Radiation Effects laboratory of NASA, which is constructing a copy of the CERN SC to provide a source of 'artificial cosmic rays'.
- A 'Milady' measuring table for bubble-chamber pictures has been modified, in collaboration with the World Health Organization, to enable measurements to be made on electrocardiographic records.
- A IEP has been successfully operated 'on-line' to the Mercury computer.
- A medium-speed data link now exists between the South and East experimental areas of the proton synchrotron, the experimental rooms of the synchrocyclotron, and the Mercury computer.
- The prototype of a new scanning table for the viewing of photographs from the CERN 2-m hydrogen bubble chamber has been completed.
- The d.c. magnet constructed for studies in superconductivity has been operated to give a field of 100 kilogauss, with a power dissipation of somewhat below 3 million watts.
- A ring magnet, to 'store' muons for a longer period of time than previously possible, has been designed as part of a new experiment planned to measure the value of 'g-2' for the muon with even greater accuracy than before.
- The study group on new accelerator projects has prepared a detailed report (CERN/542) on the proposed intersecting storage rings (ISR) for the proton synchrotron.

表 5. 3

FIGURES FROM THE PROGRESS REPORTS*

May to November 1964

- On 15 November, CERN personnel numbered
 - 1592 staff members,
 - 412 supernumeraries,
 - 70 fellows and research associates,
 - 208 visitors and students,
 - 2282 altogether
- In the Nuclear Physics Division, out of a total of 187 staff members, there were 60 scientists, involved in experiments, with, in addition 107 fellows and visiting scientists.
- The Theoretical Studies Division had 15 staff members, including 11 scientists or mathematicians with, in addition 24 fellows and research associates, 9 visiting scientists from Member States, 15 visiting scientists from other countries.
- Total consumption of electricity in this period was 40 430 000 kWh, with maximum demand of 18 658 kW.
- The amount of water used for cooling was 2 273 000 m³.
- The proton synchrotron (PS) schedule devoted 3025 hours to experiments, 470 hours to development, 175 hours to special tests, out of which breakdowns contributed a total loss of 245 hours. Average beam intensity during experiments was 7.5×10^{11} protons per pulse, with a best fortnightly average (220h) of 9.5×10^{11} protons per pulse, and a highest recorded value of 1.1×10^{12} protons per pulse. Total number of protons accelerated for experiments was 3 000 000 000 000 000 000 (3 x 10¹⁸).
- PS facilities included 12 secondary beams of particles, enabling runs to be carried out on 24 experiments, with an average of 5 experiments simultaneously.
- The beam lines utilized 120 items of beam-transport equipment, 5 km of flexible electric cable, 1.2 km tubing for cooling water.
- In the k₄ beam of the PS North experimental hall, the 81-cm Saclay bubble chamber, filled with liquid hydrogen, took 300 000 photographs of antiprotons of momentum 1.2 GeV/c 250 000 photographs of negative kaons of various momenta between 0.8 and 1.2 GeV/c; and filled with liquid deuterium, 120 000 photographs of positive kaons at rest, 80 000 photographs of anti-protons at 0.6 GeV/c 70 000 photographs of antiprotons at rest.
- In the e beam of the P. East experimental hall, the 152-cm British bubble chamber, filled with liquid hydrogen, took 140 000 photographs of negative kaons at 5 GeV/c, 400 000 photographs of negative kaons at 6 GeV/c, 60 000 Photographs of positive kaons at 5 GeV/c.
- The synchro-cyclotron (SC) schedule devoted 3713 hours to experiments, 141 hours to development, with faults and repairs contributing a loss of 140 hours.
- The liquefying plants in CERN produced 78 000 litres liquid hydrogen, 1 300 litres liquid helium. In the first ten months of 1964, CERN used 1 600 000 litres of liquid nitrogen, about half of it for the 152-cm British bubble chamber.
- The Main workshop worked 53 370 man-hours, produced equipment valued at 1 085 000 Swiss francs, sub-contracted work valued at 250 000 Swiss francs.
- The West workshop worked 33 450 man-hours, produced-equipment valued at 609 700 Swiss francs, sub-contracted work valued at 70 000 Swiss francs.
- The new Surface-treatment shop worked 6920 man-hours, produced equipment valued at 83 500 Swiss francs.
- The 7090 computer, working continuously, processed 350 jobs per day.
- The Programming Enquiry Office answered enquiries a day, and added to the CERN programme library 28 new programmes.
- Telephone calls averaged 38 000 per month.
- The Messenger service handled an average of 49 000 letters per month.
- CERN reports were distributed to 655 addresses in 54 countries.
- Regular distribution of CERN COURIER reached 3050 copies in French, 2075 copies in English.

* For earlier figures see CERN COURIER, vol. 4, p. 92, July 1964.

× × ×

その他にもこぼれ話は多数あつて、拾い出せばきりが無い。いつか思いだしたり、必要があつたら書き足すことにしよう……………。

創設期

バラツクをたてて 死地への入り口 作業をすゝめるの 南極精神

7 現状において素研の陽子シンクロトロンは

40 GeV でよいか

7. 現状において素研の

陽子シンクロトロンは40 GeVでよいか？

原子核（いわゆる低エネルギー）実験用の加速器の数でいえば、日本は決して非常に少ないとはいえなくなった。しかしよい実験には使えないという加速器がありすぎたといいたくなる。^{*}それは、認められた予算を全部使い、できる丈よくばった（エネルギーをあげるとか何かの特色ある）加速器をつくろうとし、結局のところ最終段階でもう少し投資したら立派な加速器になるのだがという所で予算を使い果し、加速器がまともに動かないという次第である。或は亦加速器（の金物）はできても、実験装置の整備がおくれ、実験開始迄に更に何年かかけ、そのときには加速器が時代おくれになっている……こんな例は外国にもあるが、我国には外国の中のbestのものしか目につかないので、底辺に沢山の名もなき研究者があまりほめられた態でない仕事ぶりを行っているのを度忘れするようだ； 山が高いのは、裾野が広いからである！
— 日本にも珍らしくないことなのだ。

核研のサイクロトロン（1957年完成）^{**}は、このような悪因縁をすっぱり断ち切り、世界的に優秀な加速器として数年間万丈の気をはいた。（その優位はTandem Van de Graaffの出現でくずれたのである……）

素研の場合には、こんな悪い卵車の轍を絶対に踏まないように計画されている。確実にできるシンクロトロン（40 GeVであれば加速器本体の建設に約120億円かゝる）と十分な研究施設・実験装置をととのえることを最優先に考えてきた。しかしSerpukhovの76 GeVのシンクロトロンがうごき出し、Weston（のNAL）の200 GeV大シンクロトロンの建設が始りそうになってくると、素研のシンクロトロンは40 GeVで果してよいかどうか度々聞かれる。そこで40 GeV是非の問題に絞って少しく考えて見ることにしたい。

素研の大加速器は全国の研究者のためにつくるので、どうしても確実に出来上り、安定で信頼のおける運転ができるものでなければならない。又計画された時間表よりあまり遅れたり、予算の超過することを厳重につましまなければならない。従って素研のシンクロトロンの見積

* 事情はかなり改善されつつある。

** 核研の電子シンクロトロンは、外国の同規模のものに比べて、完成したのがおそかつたから、それを用いて第一線の研究をするのはむずかしく、その上シンクロトロンの運転費・実験費の不足に悩まされつつあった。

は一大学、一研究所専用の加速器に比べて若干高い安全係数をかけておく必要がある。次に I において繰返し強調しておいたように、素研の研究活動は各大学、研究所のそれによって支えられはげまされる。西ヨーロッパの大国の例では、共同研究所 (CERN) に対する高エネルギー支出の 2~3 倍のものを国内での高エネルギー研究にあてている。同じように、日本でも素研だけでなく各地の大学、研究所の高エネルギー研究活動を (時間的な前後が生じてもやむを得ないが、いつれ) 高めてゆかなければならない。

このような見地も併せ考えながら、素研計画の総支出 300 億円の中でシンクロトロンに占めるべき比率を論じてみよう。素研計画の原案では、素研の予算の中に全国研究者の高エネルギー研究費の相当部分が入っていると了解していた。そして素研の費用で各大学研究機関に対して高エネルギー研究のための“委託研究”その他の形での“輸血”ができることを期待した。高エネルギー研究費を大きく素研の枠にまとめることは無駄をはぶき一見能率的、効果的であるかに見えた。(所が実際には予期せざる問題が生じてきた——それについては改めて述べる。)そこで 300 億円の中に研究用に十分——少くともシンクロトロン完成後に十分な測定器がとらえられることを念頭において——の余裕をみておき、シンクロトロン本体の建設費を約 120 億円におさえたのである。かくして加速器のエネルギーは、コストの点からも 40 GeV 前後になるのである。もし加速器の周辺施設や高エネルギー実験費、とくに当初実験設備を相当に節減して加速器建設費に投入することになれば (300 億円の枠は変えないで)、60~70 GeV シンクロトロンをつくることは決してむづかしくない。素研発足がのびのびとなっている現在ではしばしば素研の加速器のエネルギーは 40 GeV のままでよいかと質問される。答は、正直の所、Yes であると共に No である。300 億円を動かさず、又シンクロトロン完成後直ちに十分な実験を開始できる為にはシンクロトロンは 40 GeV 前後となり、これによって第一線のよい仕事が出来ると信じている。しかし実験の投資を多少節減して 40 GeV よりずっと大きなシンクロトロンをつくってしまうことも魅力的な可能性である。当初実験設備の不足は、“国際化”によって救うことができるだろう。即ち実験を積んだ先進国の高エネルギー研究者に素研のシンクロトロンを解放して日本と先進国の研究者が協同して実験をすることにし、その見返りとして外国の研究者をして新鋭の測定装置をひっさげて素研に研究出張させるのである。I-13 に述べた CERN-Serpukhov の共同研究の例はこの可能性を考えるとときの恰好のモデルであろう。このような“国際化”の可能性を増し尙且つ日本の自主性をはかるためには、シンクロトロンのエネルギーは高い程よいにきまっている。(更に 300 億円の“予算額”を上まわってよいのであれば、もっと自由によりよい案を考えることができよう。)

いつれにせよ、早晚、米ソ及び欧州連合で数 100 GeV (又はそれ以上の) 加速器がつくら

れよう。もっと先の Intercontinental Collaboration を想定すれば (I-10 及び 11 参照), 1000 Gev 級の超大加速器の出現もあり得よう。このような超大国の又は国際的な大加速器——高エネルギーセンターに対して, 素研の陽子シンクロトロンは, 40 Gev にもせよ, 70 Gev にもせよ, 地域的なサブセンターにある小型加速器にすぎない。日本が超大国でない以上, 米ソや欧州連合の頂上計画のまねはそもそも無理である。素研の 40 Gev シンクロトロンで活発な研究をして見せて外国にある数 100 Gev (又はそれ以上の大) 加速器を有効に使いにゆけるようになるべきだと信じている。日本で Serpukhov や Weston 級のシンクロトロンをつくらうとするのは, 例が悪いのだが, かつての戦艦“武蔵, 大和”に例えたくなってくる?!

ことわるまでもないと思うが, 念のために一言。

もし日本で, 他の分野を犠牲にしても高エネルギー物理学実験に最優先を与えるというのであれば——全くの仮定の話で, 筆者でさえ賛成しかねる——, 日本だけの力で Weston や欧州連合の加速器に対抗するものをつくることのできる。

以上の所論においては 300 億円なる予算の枠内で (素研シンクロトロンのエネルギーの) 問題を論じてきた。300 億円は 1962 年学術会議が政府に勧告した原子核将来計画において用いられた予算額である。その後の年月の経過で, 300 億円という値自身に非常に意味があるとはいいがたくなってきた。先進諸国の高エネルギー支出対国民所得総額の比に従って日本の高エネルギー年間支出を試算すれば

アメリカの比率より	年間約	78 億円
フランス	”	140 ”
イギリス	”	120 ”
ドイツ	”	74 ”

となることに注意しておこう。高エネルギー研究への年間支出を 80 億円とし, その半分を 5 ヶ年にわたって加速器建設に投入したと仮定した場合に, つくり得る加速器のエネルギーは大凡 80 Gev となろう。

素研の陽子シンクロトロンが 40 Gev でよいかどうかの問題について筆者は以上のように答える。あまりはっきりしない答だと反論されるとすれば, シンクロトロンのエネルギーや建設費の決定はもともと竹を割るようにずばりとゆく代物ではないというより外に仕方がない。むしろ素研発足が正式に承認され, 陽子シンクロトロンの建設費若くは素研の年間予算規模の目安を与えられれば, その範囲内で我々の最善を尽して最高エネルギーで最良のシンクロトロンを作る決意と用意がある, これが我々の最も良心的な答なのである。

卷

末

註

e v	電子ボルト	
ke v	1 0 0 0 電子ボルト	
Me v	1 0 0 万電子	〃
Ge v	1 0 億	〃 〃
A	アンペア	
mA	ミリアンペア	= 1 0 ⁻³ A
μA	マイクロアンペア	= 1 0 ⁻⁶ A
sec	秒	
msec	milli sec	= 1 0 ⁻³ sec
μsec	micro sec	= 1 0 ⁻⁶ sec
nsec	nanosecond	= 1 0 ⁻⁹ sec

外国の主な高エネルギー物理研究所一覧表

略称	正式の名前	住所	そこにある主な加速器とそのエネルギー	註
CERN	European Organization for Nuclear Research	1211 Geneve 23 Switzerland	CERN Proton syn- chrotron (CPS), 28Gev陽子 ISR-28Gev p-pの colliding beam machine	西欧13ヶ国が共同運営する高エネルギー国際的研究所
Dubna	Joint Institute for Nuclear Research	(Dubna) Head P.O. Box 79 Moscow U.S.S.R.	シンクロファトロン, 10 Gev陽子	東側11ヶ国が共同運営する原子力関係の国際的研究所
Serpukhov	Institute of High Energy Physics of the SCUAE	P.O.Box 35, Serpukhov Moscow District U.S.S.R.	シンクロトロン, 76Gev陽子	SCUAE所轄の高エネルギー物理研究所 SCUAE=State Committee for Utilization of Atomic Energy of the U.S.S.R.
Orsay	Ecole Normale Supérieure, Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire	F-91 Orsay (Seine et Oise) France	Orsay Linear Accelerator, 1.8 Gev (25Gev) 電子 ACO-400MeV e^-e^+ の colliding beam machine	パリ大学理学部の物理教室や核物理研究所などでも高エネルギー研究を行っている。
Saclay	Commissariat A l'Energie Atomique	Boite Postale No 2 91 Gif- Sur-Yvette, France	Saturne, 3 Gev陽子	フランス原子力委員会所轄の原子力研究所

略称	正式の名前	address	そこにある主な加速器とそのエネルギー	註
Rutherford 又は RHEL	Rutherford High Energy Laborat- ory	Chilton, Didcot Berkshire, U.K.	Nimrod, 7 GeV 陽子	Science Research Council 所管の高エネルギー - 研究所
Daresbury	Daresbury Nuclear Physics Laboratory	Daresbury, Cheshire, U.K.	Nina, 5 GeV 電子	
DESY	Deutsches Elektronen - Synchrotron	2000 Hamburg-Gr, Flottbek 1, Notkestieg 1, Germany	DESY, 6 GeV 電子	西独連邦政府, ハ ンブルグ市及び VW Foundation より研究費をえて 運営されている研 究機関
Frascati	Laboratori Nazionali di Frascati	Casella Postale 70 Frascati (Roma) Italy	電子シンクロトロン, 1.1 GeV	イタリア原子力委 員会所轄の原子力 研究所
Argonne 又は ANL	Argonne National Laboratory	9700 South Cass Avenue Argonne Illinois U.S.A.	ZGS, 12.5 GeV 陽子	AECより資金を うけてシカゴ大学 が管理する国立の 原子力研究所
Brookhaven 又は BNL	Brookhaven National Laboratory	Upton, Long Island New York 11973 U.S.A.	AGS 3.3 GeV 陽子	AECより資金を うけてAUIが管 理している国立原 子力研究所
(Lawrence) Radiation Lab. 又は LRL	Lawrence Radiation Laboratory	Berkeley, California 94720 U.S.A.	Bevatron 6 GeV 陽子	AECより予算を うけている。 California 大 学所属の研究所

略称	正式の名前	address	そこにある主な加速器とそのエネルギー	註
NAL	National Accelerator Laboratory	1801 West 22Street Oak Brook Illinois 60521 U.S.A	200 Gev 陽子	AECより資金を うけてURAIが 運営する。800 Gevの陽シンクロ トロン(今年より 建設開始)をもつ 国立研究所
SLAC	Stanford Linear Accelerator Center	Stanford, California 94305 U. S. A.	SLAC 20Gev電子	AECの支出によ って support されるスタンフォ ード大学附属の研 究所