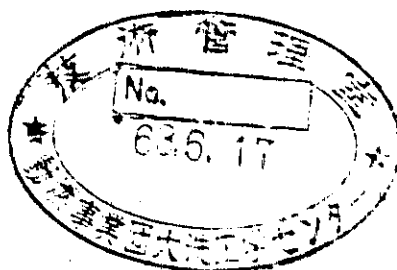


Operational Experience of JOYO



March, 1988

OARAI ENGINEERING CENTER
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION

Enquires about copyright and reproduction should be adressed to:

Technical Information Service

Power Oarai Engineering Center

4002, Narita-machi, Oarai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, Japan

Operation Experience of JOYO

奈良 義彦*

要 旨

1987年1月20～23日の4日間、東京の動燃本社で開催された第5回日独仏FBR協力レビュー会議に報告した内容をまとめたものである。

高速実験炉「常陽」の全般的な状況を述べたあと、最近の研究開発テーマとして、自然循環試験、タグガス試験、地震実験、計測線付燃料照射試験、アルファベット計画、運転・保守支援システムなどの概要を紹介した。

本報告書では、その会議に使用したビューグラフとその各ページに対応した口頭説明原稿を整理して報告する。なお、炉心管理技術と燃料の開発についての補足として、1986年2月5日に東京の経団連ホールで行なわれた第2回高速増殖炉研究開発成果報告会に報告した内容を合せて記載する。

* 大洗工学センター 実験炉部

目 次

1. Operational Experience of JOYO	1
2. 高速実験炉「常陽」における開発と今後の計画 — 炉心管理技術と燃料の開発 —	67

1. Operational Experience of JOYO

JOYO - RAPSODIE - KNK II

Operation Experience Information Exchange Meeting

Karlsruhe, F.R.G, 14-18 July 1985

- Welcome
- Review German LMFBR-Program and recent KNK II operating history KfK
- Status of RAPSODIE program for expertise and dismantling history CEA
- Review of Japan LMFBR-Program and status JOYO operation PNC
- FFDL test using simulated failed fuel in JOYO PNC

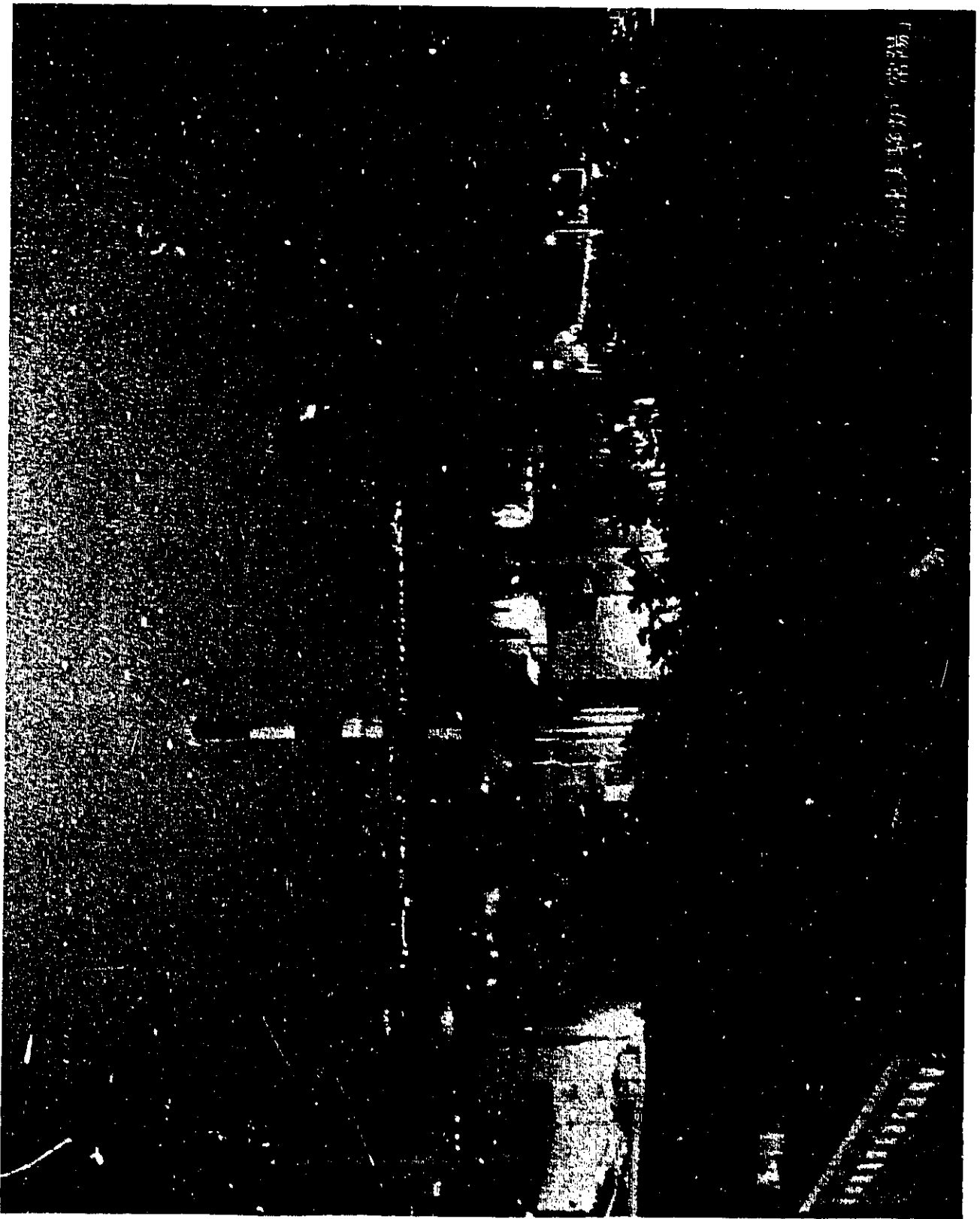
- Experience with PHENIX core thermohydraulics CEA
- Experiences on operating with failed fuel IA
- Preliminary tests of natural convection on JOYO Mk II core PNC
- Experience of changing of a primary pump KBG
- Sealing characteristics of rotating plugs of JOYO reactor vessel PNC

- Sodium boiling experiments in KNK II KfK
- Development of irradiation technology
 - instrumented fuel assembly - PNC
- Topics of irradiation test results and irradiation program at JOYO PNC
- Recent operating experience with PHENIX CEA
- Use of microprocessors for core surveillance KfK

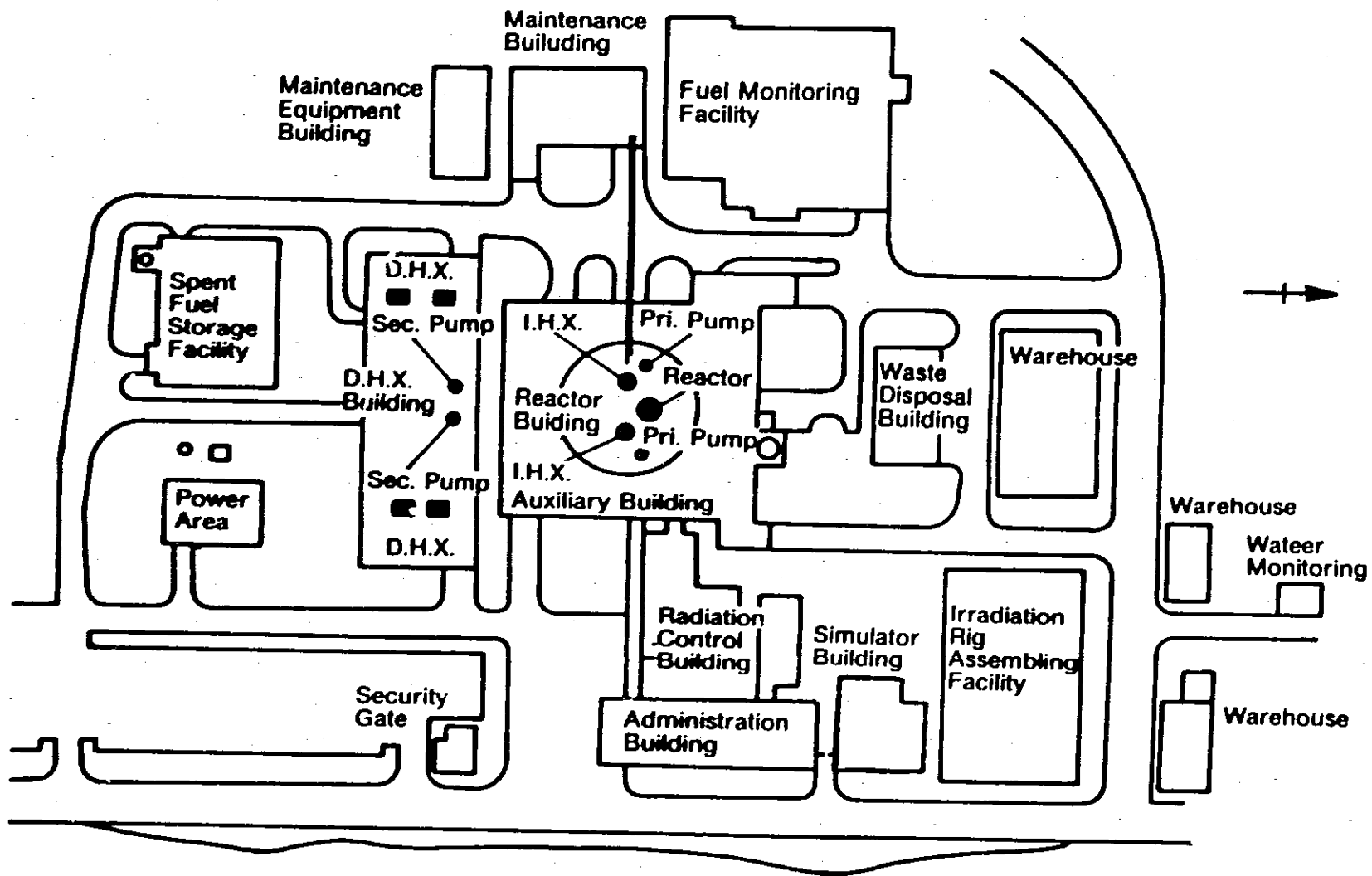
JOYO-PHENIX-KNK-II
OPERATION EXPERIENCE INFORMATION EXCHANGE MEETING
(TENTATIVE)

PNCT N9530 88-004

1. OPERATION PROCEDURE AND COUNTER MEASURE ON OCCURENCE OF FUEL FAILURE DURING POWER OPERATION.
 - * CONFIRMATION OF THE FUEL FAILURE, AND CRITERION OF REACTOR SHUT-DOWN,
 - * IDENTIFICATION OF FAILED FUEL,
 - * AND RECOVERY OF PLANT OPERATION.
2. PLANT CONTROL DURING OVER ALL PLANT INSPECTION AND MAINTENANCE.
 - * TRANSITION PROCEDURE TO PIPING DRAIN AND SUBSTITUTION OF ATMOSPHERE GAS OF THE PRIMARY COOLING SYSTEM.
 - * DECAY HEAT REMOVAL MEASURES DURING PRIMARY SYSTEM DRAINED.
3. OPERATION PROCEDURE AND COUNTER MEASURE ON OCCURENCE OF SODIUM LEAK DURING FULL POWER OPERATION.
 - * CONFIRMATION AND IDENTIFICATION OF SODIUM LEAK,
 - * OPERATION PROCEDURE FOR PREVENTION OF FURTHER LEAK, AND DECAY HEAT REMOVAL.





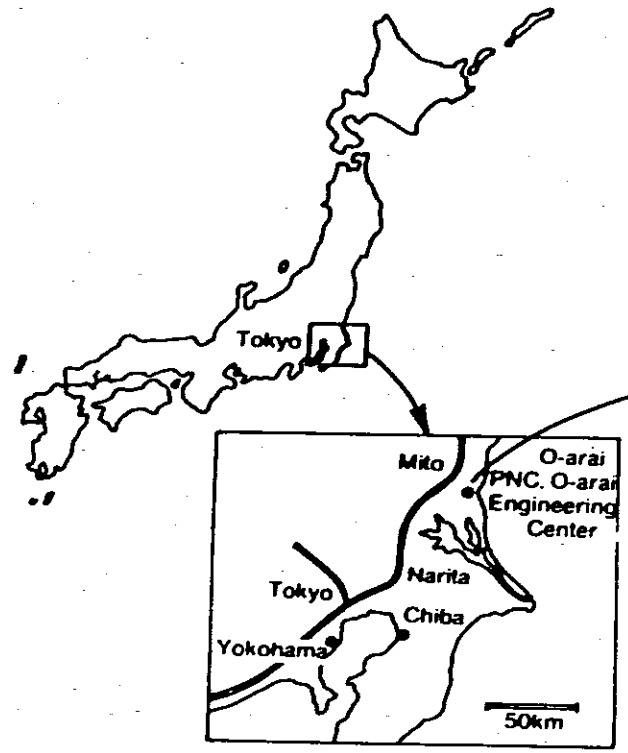
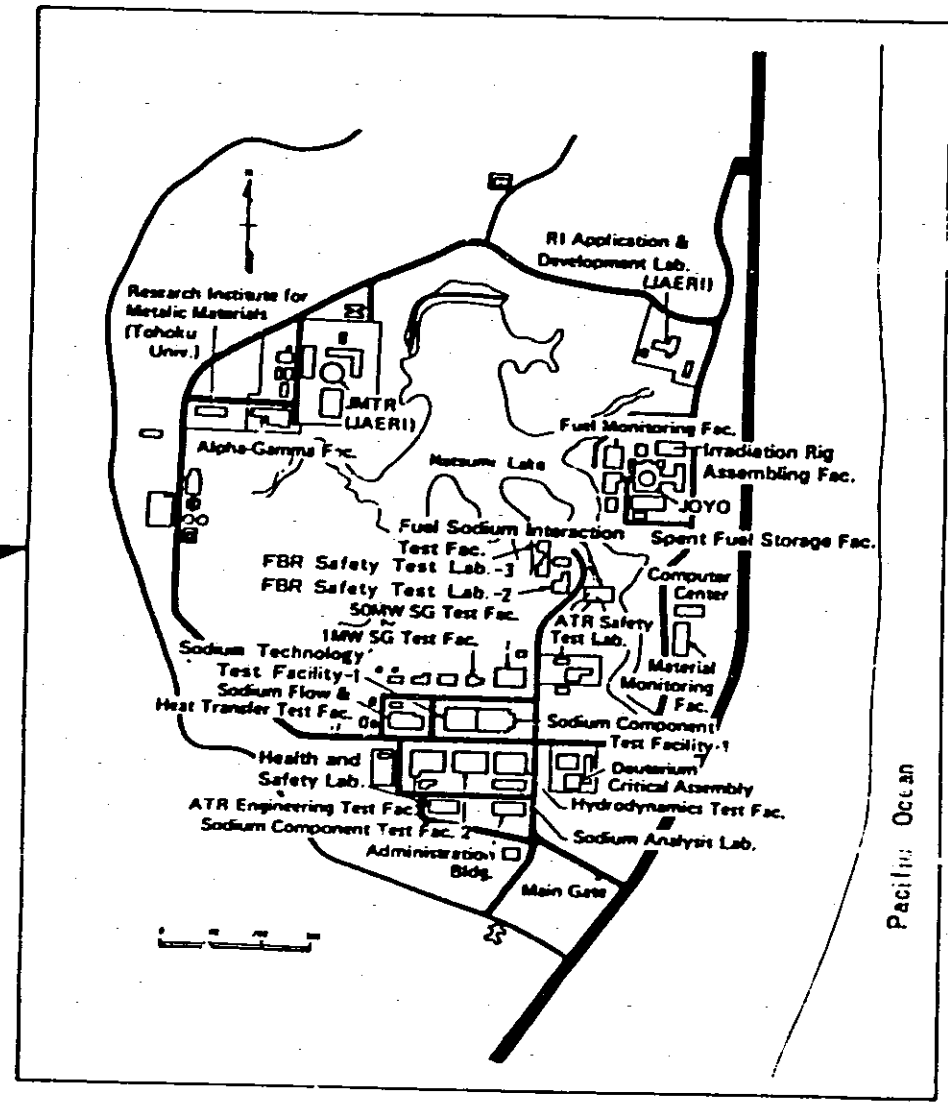


JOYO COMPLEX

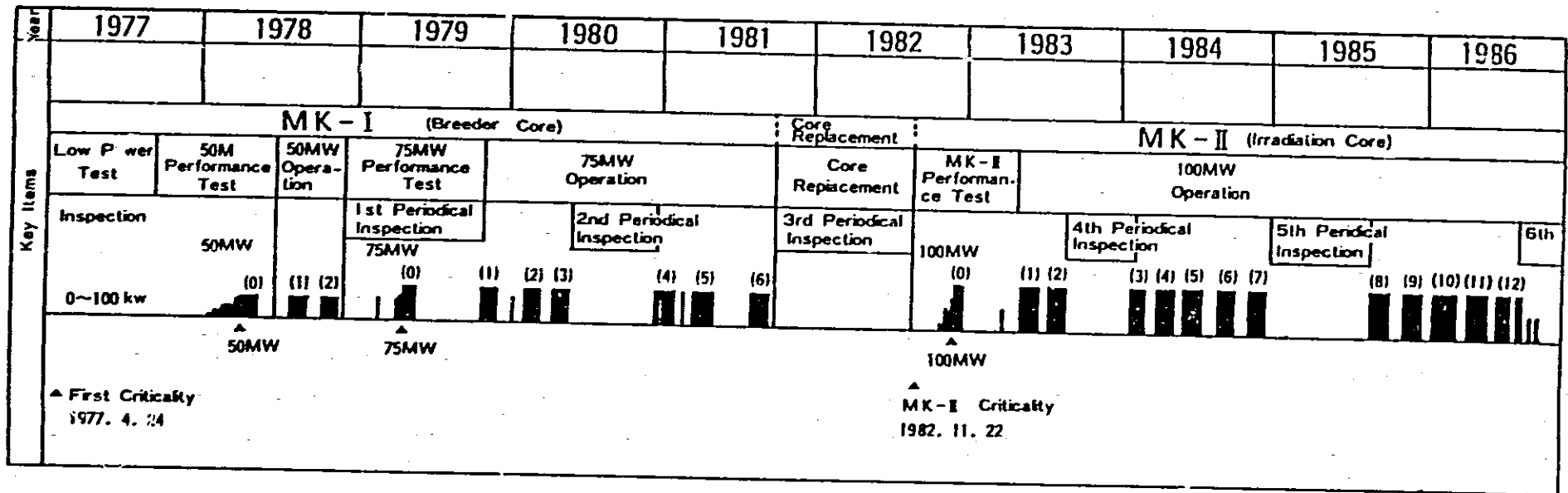
PNC N943 81-01

PNCT N9530 88-001

- 7 -



PNC O-ARAI ENGINEERING CENTER



JOYO Operation History

Main Plant Parameters of JOYO

- **Reactor Type** Pu-U Mixed Oxide Fueled Sodium Cooled Experimental Fast Reactor, Loop Type (2 Loops)
- **Fuel Handling System** Double Rotating Plug, Straight Movement FHM, Cask Car EVTm
- **Core** Single Zone Homogeneous
- **Heat Rejection** Air Cooler (4)
- **Plant Control** Manual
- **Coolant Flow Control** Constant Flow
- **Reactor Power** 100 MWt Rated (75MWt with MK- I Core)
- **PHTS Temperature** Reactor Inlet/Outlet 370°C/500°C at Rated Power
- **Sodium Inventory** Primary 120t, Secondary 70t
- **Aseismic Design** 150 Gal at Base (Scram Level 150 Gal at Operation Floor)

Operational Experience of JOYO

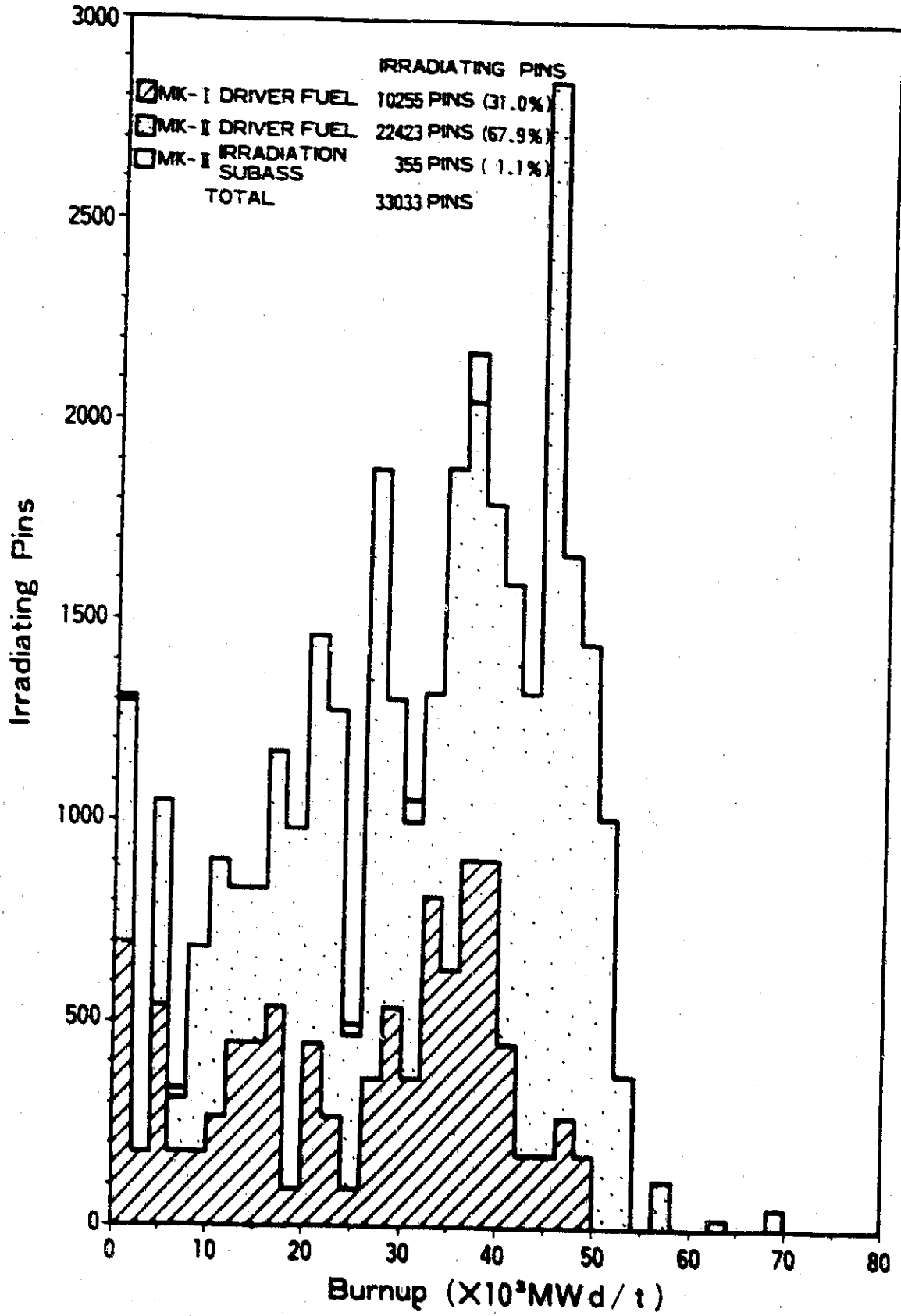
(1986. 12)

- Accumulated Reactor Operation Time 28,442 h
- Accumulated Heat Generation 2,031,359MW h
- Fuel Irradiation
 - Maximum Fuel Burn Up Achieved 50,000MW d/ t
 - Number of Fuel Assemblies Discharged from Reactor Vessel 418 (Core Fuel)
- Number of Start Ups 396 (Including Critical Test)
- Number of Core Subassemblies Handled 1,428
- Number of Annual Inspections 6

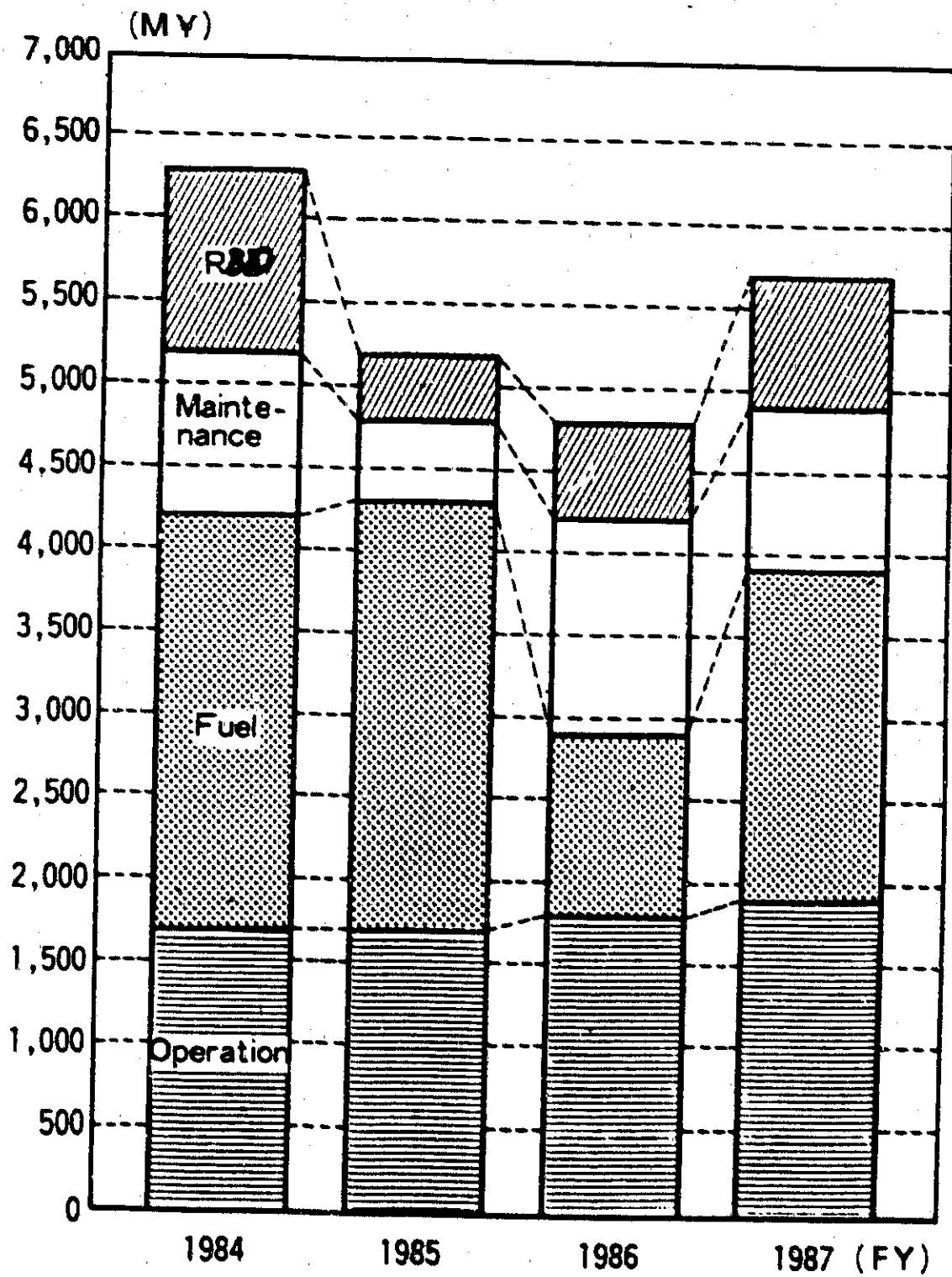
Main Results Confirmed Through Operation

(1986. 12)

- Core Physics Agreed with Design Within 10%
- Core Thermal-Hydraulics Agreed with Design Within 5 %
- Reactor Shielding Adequate with Design Margin
- Plant Parameters Agreed with Design Within 5 %
- Plant Dynamics Stable with Sufficient Negative Feedback
- Design Futures Satisfactory
- Operability Simple and Reliable
- Maintainability Satisfactory
- Sodium/Cover Gas Purity Control Satisfactory
- CP Accumlation Acceptable (15~20 mrem/h ON Entire Phts)
- Occupational Radiation Exposure 209 man rem (3.1 man rem/GWD)
- Earthquake Experience 33 gal (MIYAGI-OKI Earthquake)
- Unscheduled Outage 294 h (1.1%)



Histogram of Fuel Irradiation (1986/12)



Budget of Operation

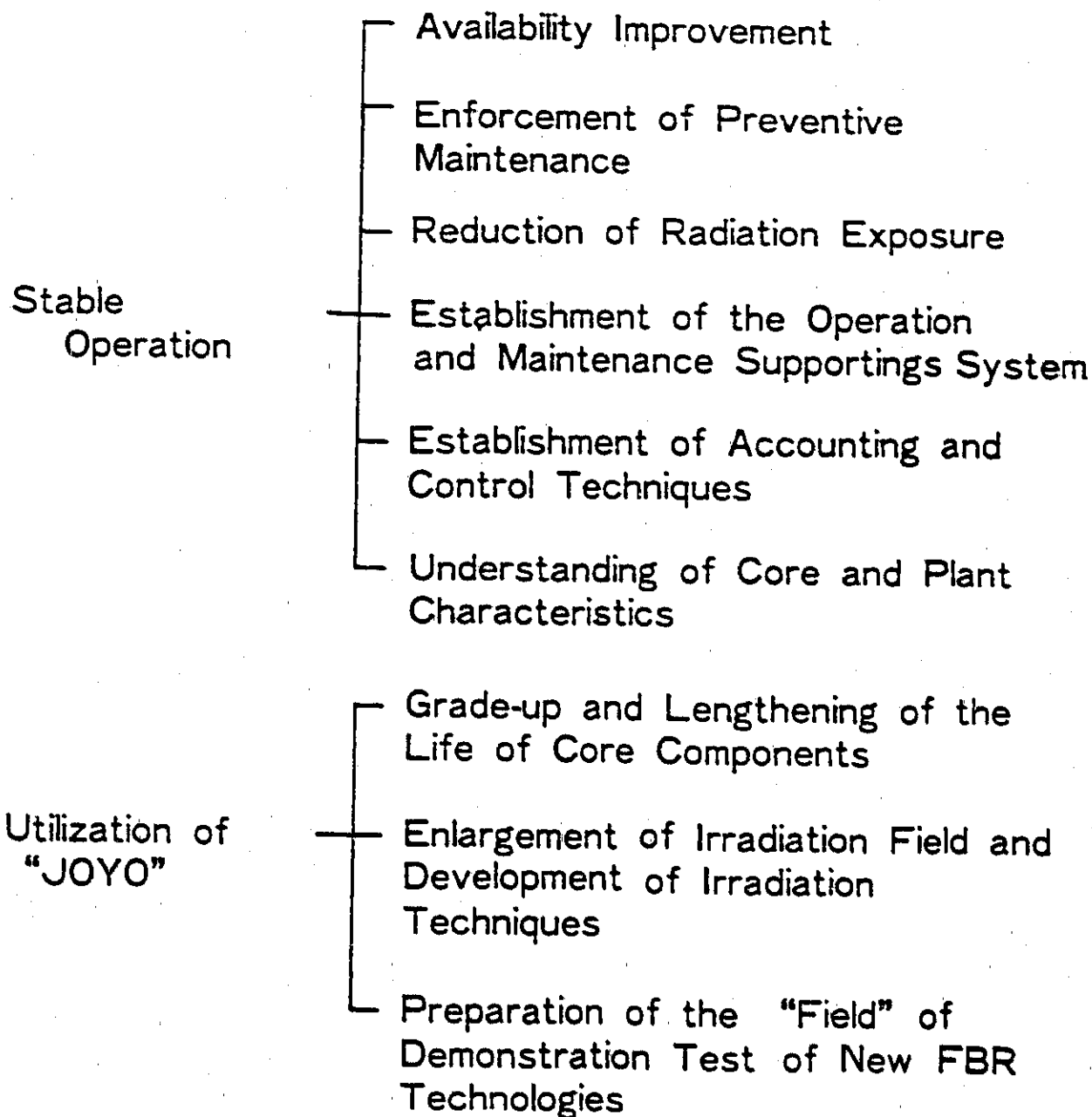
PROJECT OBJECTIVES OF JOYO

1. Acquisition of Operation Experience of a FBR Plant
 - Understanding of Characteristics of the Real Plant and Components
 - Testings in New Areas

2. Irradiation of Fuels and Materials
 - Fuels and Materials for FBR
 - Utilization of Fast Neutron Field in General

3. Demonstration Test for the New FBR Technology Development
 - Demonstration at a Real Plant
 - Utilization as a Heat Source

DEVELOPMENT TASKS WITH "JOYO" (1987 FY)

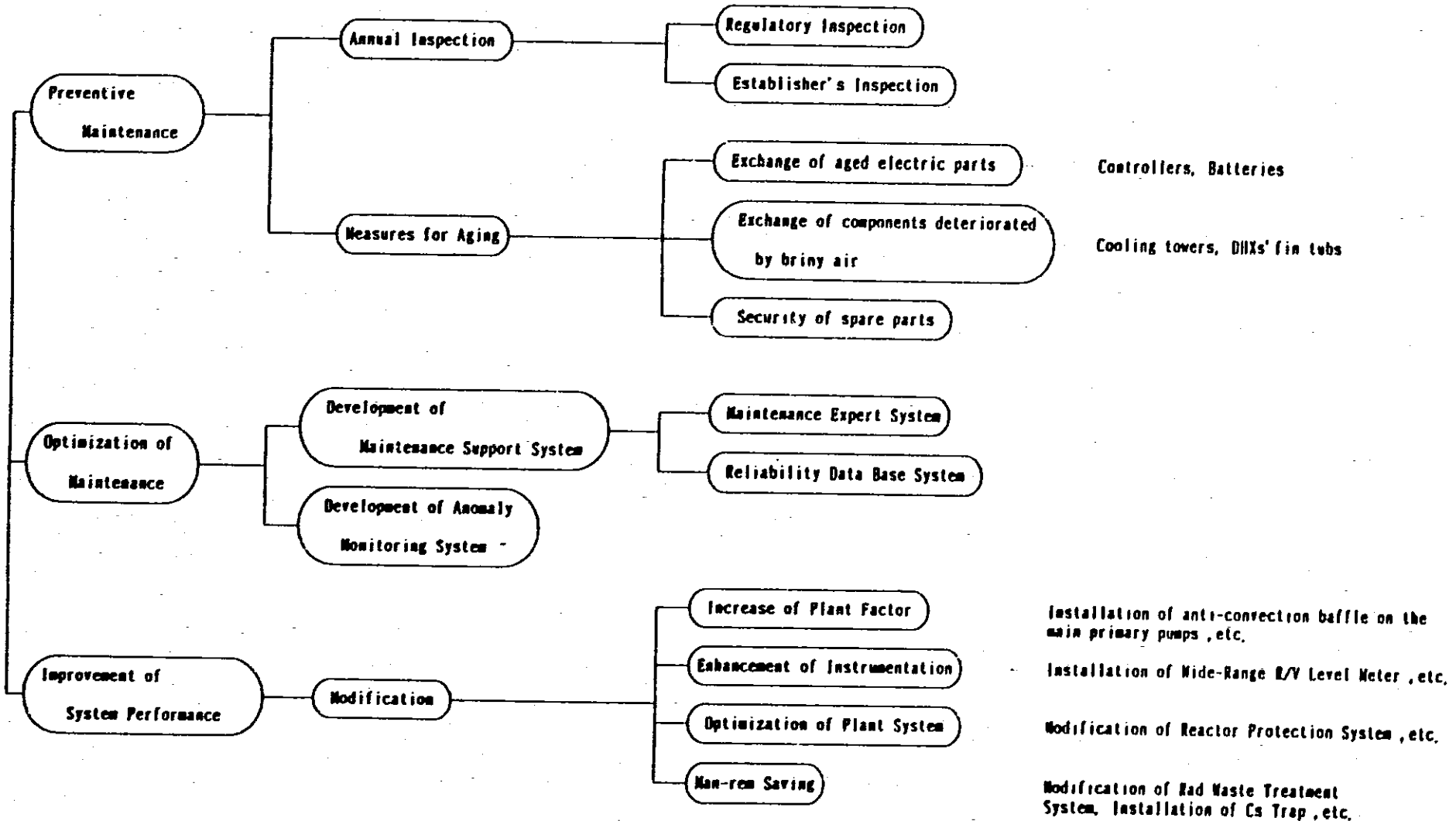


Improvement of Plant Availability

- Extension of Operating Duration Period
45 days/cycle → 70 days/cycle
- Reduction of Fuel Exchange Period
- Reduction of Annual Inspection Period
within two months
- Reduction of Period for Plant Modification and for Installing
of Irradiation Test Apparatus
- Reduction of Unscheduled Reactor Shutdown

Improvement Plan of JOYO Core Efficiency

	Present Spec. (~1987)	New Spec. (1988~)
1. Fuel Pellet Specification		
(1) Pu Oxide Content ($\text{PuO}_2 / (\text{PuO}_2 + \text{UO}_2)$)	30w/o	Under 30w/o
(2) Pu Fissile Content ($(\text{Pu}239 + \text{Pu}241) / (\text{Pu} + \text{U})$)	(22w/o)	20w/o
(3) U235 Enrichment (U235/U)	12w/o	18w/o
(4) Fuel Pellet Density	93% T. D.	94% T. D.
2. Refueling Program		
(1) Operation Cycle (Operation Term+Refueling Term)	45+23 days	70+23 days
(2) Max. Burnup (Pin Axial Average)	50,000MW d / t	75,000MW d / t
3. Characteristics		
(1) Max. FP Gas Pressure Stress of Driver Fuel Cladding	6 kg/mm ²	10 kg/mm
(2) Max. Cumulative Damage Factor of Driver Fuel Cladding	0.05	0.3



Maintenance Activities of JOYO

MAJOR MODIFICATIONS AND INSTALLATIONS

Description	Remarks
Modification of Main Primary pumps	Prevention of bowing of pump Assy's due to convection of Ar gas
Replacement of oil Snubbers with Mechanical Snubbers	Reduction of radiation exposure
Modification of the DHX outlet Temp. control system	Mitigation of thermal shock by use of intelligent controllers
Modification of the R/V level sensor	Expansion of Monitoring Range
Installation of FFD system on the primary B loop	Enhancement of Sensitivity of Failed Fuel Detection
Modification of the Primary cold Trap	Improvement of Capability of impurities capture (Future Plan)
Modification of the secondary heater control system	Improvement of Controllability and Operability by use of Mini-Computer (Future Plan)
Installation of Cs Trap	Reduction of exposure in Primary Cell Maintenance in case of Fuel failure (Future Plan)

EXPERIENCE ON FUEL HANDLING SYSTEM OF JOYO

1. Sodium deposition around Rotating Plugs
 - o Rotating Plug not to jack down
 - Repeating jacking down and rotating
 - Devices to remove deposited sodium
 - o Refueling hole plug not to pull up or insert
 - Scraper to remove deposited sodium
 - Pulling-up device
 - o Hold down sleeve not to move down
 - Jack-down device

2. Rotating Plug seal integrity
 - o Freeze seal metal oxidization
 - Remove oxide and supply new metal
 - Air to argon for secondary side of freeze seal
 - o Reliability of elastomer tube
 - Change of material and figure of tube

3. Spent fuel cleaning
 - o Waste water reduction
 - Improve cleaning sequence
 - o CP accumulation in cleaning system
 - Remove CP by chemicals

TIME-DEPENDENT-CHARACTERISTIC TESTS FOR JOYO

1. CORE CHARACTERISTICS

- CONTROL ROD WORTH
- ISOTHERMAL TEMPERATURE COEFFICIENT
- POWER COEFFICIENT
- BURN-UP COEFFICIENT
- CORE DYNAMICS (STEP RESPONSE)
- FUEL OUTLET COOLANT TEMPERATURE
- CONTROL ROD SCRAM TIME
- REACTOR NOISE
- THERMAL POWER CALIBRATION


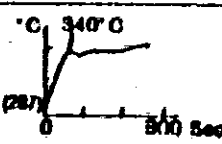
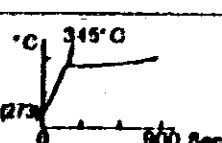
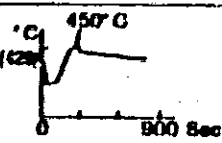
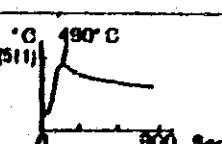
2. PLANT CHARACTERISTICS

- PRIMARY SYSTEM PRESSURE DROP
- PLANT STABILITY (STEP RESPONSE, M-SEQUENCE)
- CP LEVEL ALONG PRIMARY PIPE LINE

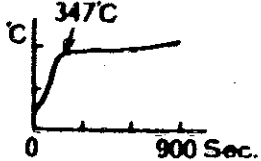
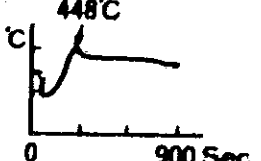
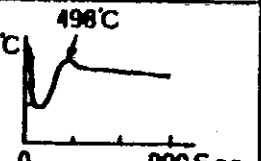
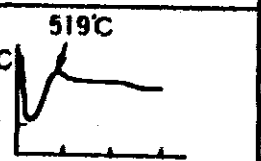
TOPICAL TESTS IN JOYO

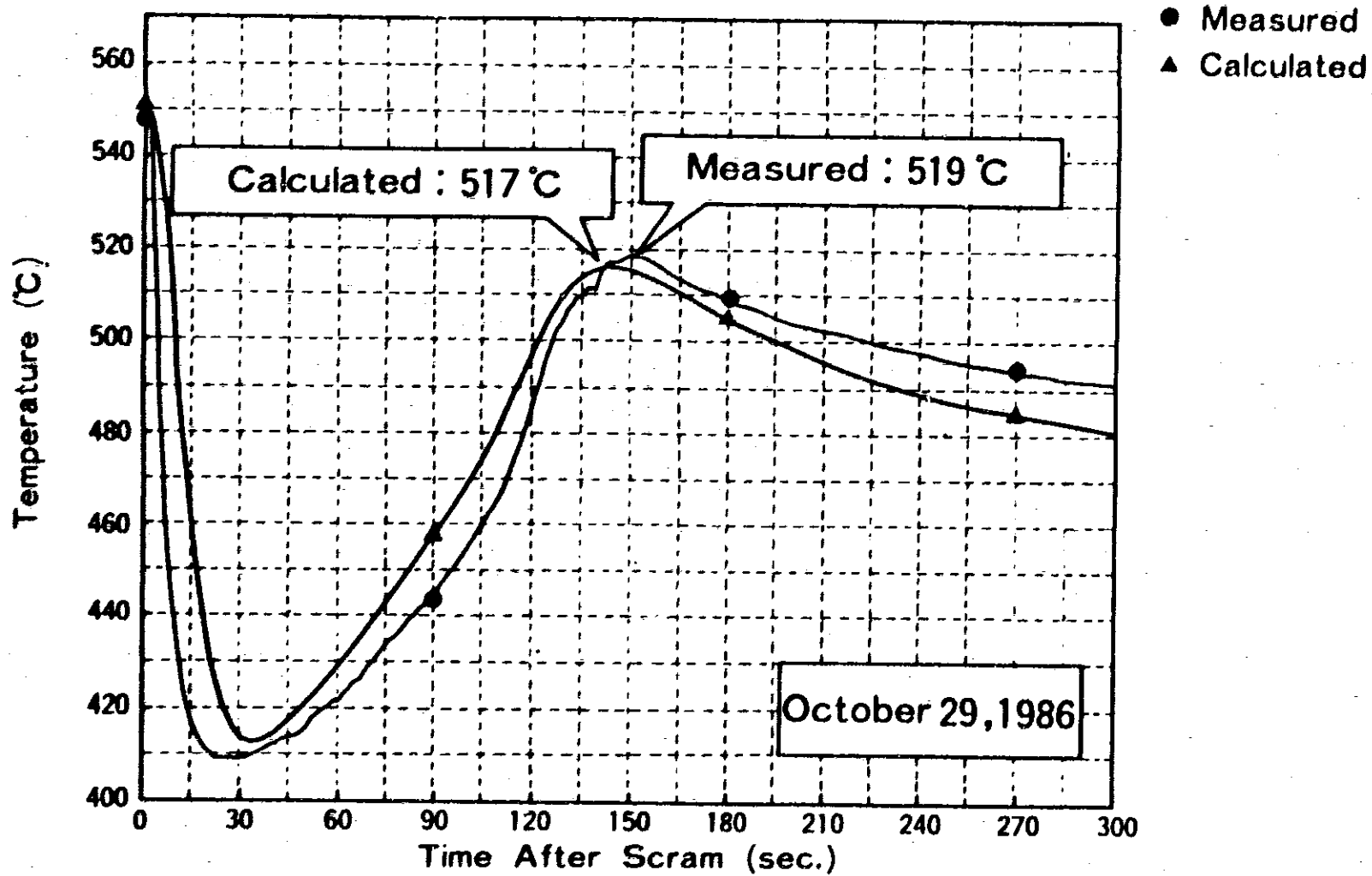
- NATURAL CIRCULATION TEST
- SIMULATED FUEL FAILURE TEST
- CONTROL ROD VIBRATION TEST
- FFDL (WET SIPPING TYPE) TEST
- TAG GAS TEST
- REACTOR BUILDING FORCED EXCITATION TEST
- COVER GAS GAMMA-RAY MONITOR TEST

JOYO Natural Circulation Test (MK- I core)

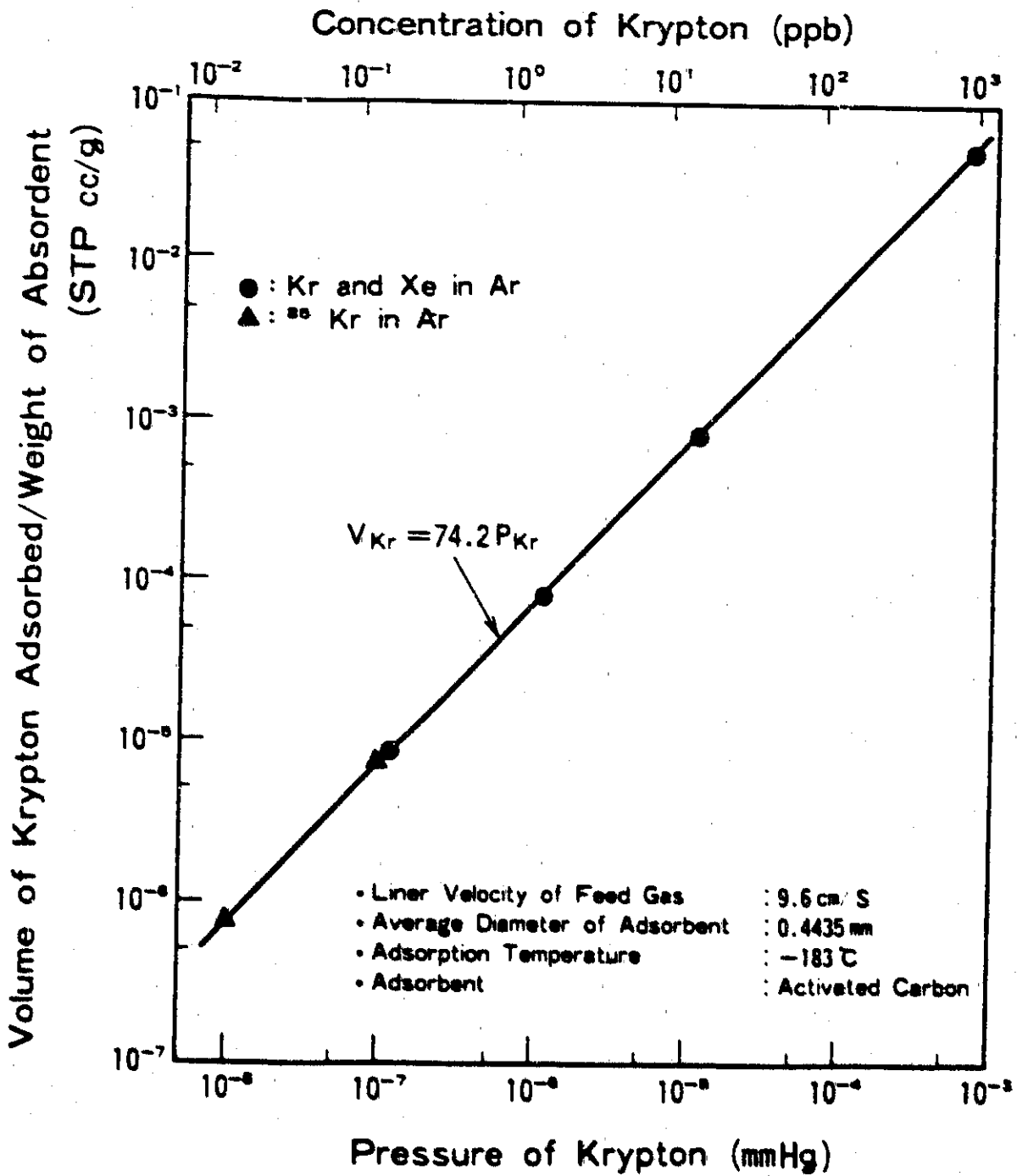
Test		Test Conditions			Test Results		
		Power	Main Pumps		Central Subass. Outlet Temp.	Loop Flows	
			Pri.	Sec.		Pri.	Sec.
Steady State Test	TEST-A	0.5MW	18% Flow Stop	40% Flow		~1 %	—
	TEST-B	1MW		40% Flow Stop		~1.2%	—
	TEST-C			40% Flow Stop		~1.2%	~1 %
Transient Test	TEST-D	30MW Scram	100% Flow Stop	100% Flow Stop		~2 %	~4 %
	TEST-E	75MW Scram	Stop	Stop		~3 %	~4.5%

JOYO Natural Circulation Test (MK-II core)

Test		Test Conditions			Test Results		
		Power	Main Pumps		Central Subass. Outlet Temp.	Loop Flows	
			Pri.	Sec.		Pri.	Sec.
Steady State Test	TEST-IA (84.10.22)	1 MW	15% Flow ↓ Stop	40% Flow ↓ Stop		~1 %	1~3%
Transient Test	TEST-IB (85.4.27)	30MW ↓ Scram	100% Flow ↓ Stop	100% Flow ↓ Stop		~1.5%	~ 3 %
Steady State Test	TEST-IC	2 MW	15% Flow ↓ Stop	40% Flow ↓ Stop	—	—	—
Transient Test	TEST-ID (86.3.31)	75MW ↓ Scram	100% Flow ↓ Stop	100% Flow ↓ Stop		~2.3%	~4.3%
	TEST-IE (86.10.29)	100MW ↓ Scram				~2.6%	~ 6 %



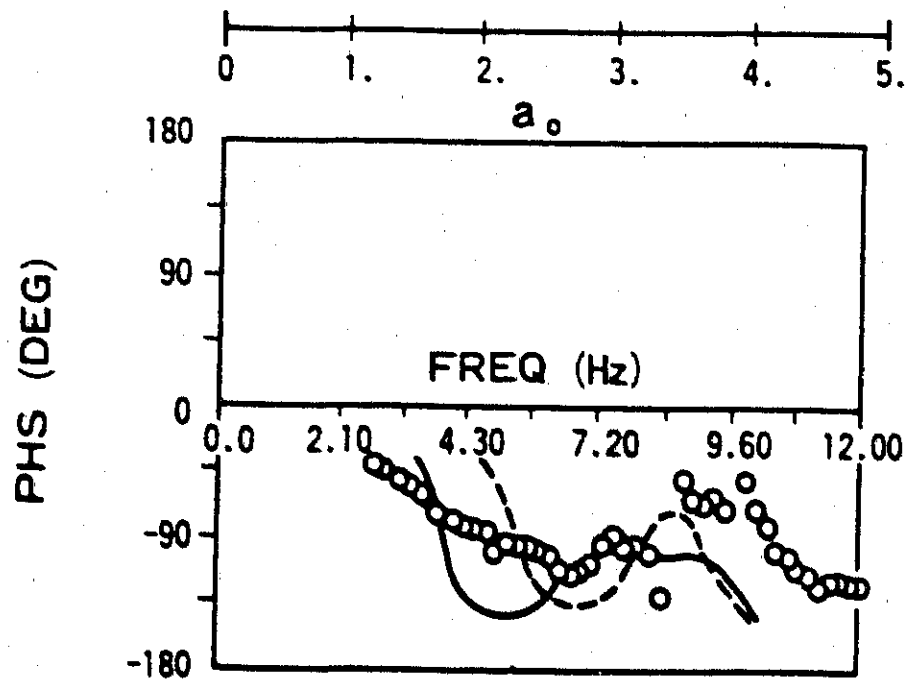
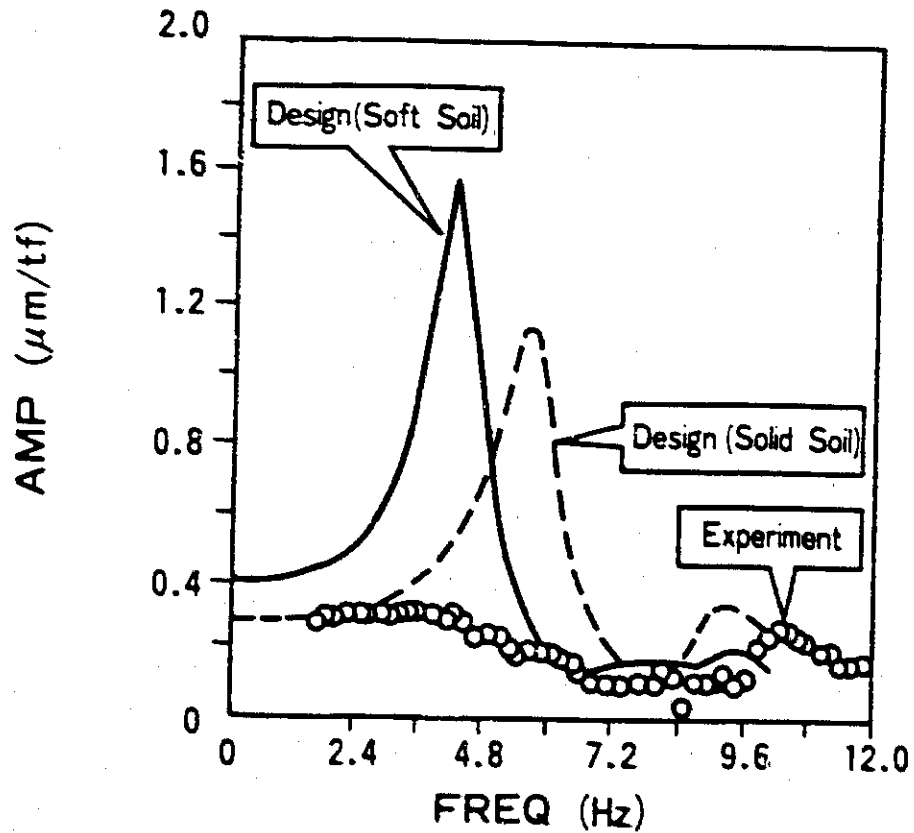
Coolant Outlet Temperature of Center Fuel Assembly
Natural Circulation Test II-E (100MW Transient Test)



**Adsorption Isotherm of Krypton
with Activated Carbon**

Results from Forced Excitation Test

- The Horizontal Displacement Response of JOYO Reactor Building with Analysis by Design Model (Considered Soft Soil and Hard Soil) was 3~4 Times Larger than that Experimental Response Under JOYO Excitation Test.
- The Damping Constants Concerned with Soil-Structure Interaction were that Design Model was 10%, Though Experimental Data was 56%.
- JOYO was Deeply Embedded in the Soft Soil. The Side of the Structure Plays an Important Role in Increasing Stiffness and Damping of the Total System.



Comparison between Analysis with Design Model and Experiment for Horizontal Displacement Response Curves under JOYO Forced Excitation Test

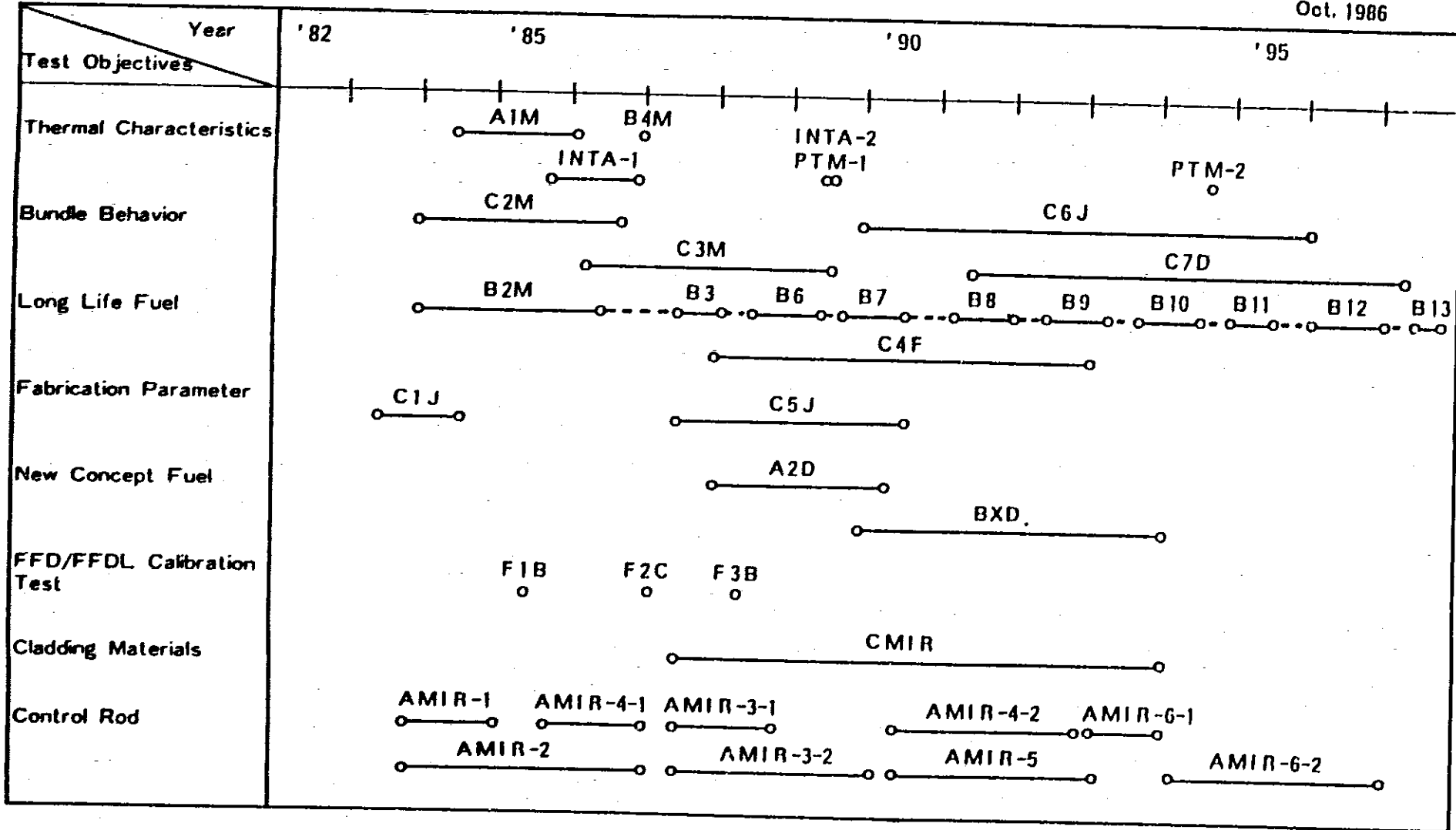
Comparison between Design and Experiment

	Design Model		Experimental Value
	Soft Ground	Hard Ground	
Eigen Frequency (1st Mode)	2.8 Hz	3.9 Hz	4.3 Hz
Soil-Structure Interaction Damping	10%		56%

Irradiation Test Program for FBR Fuel at JOYO

PNCT N9530 88-004

Oct. 1986



JOYO AND PHENIX EXCHANGE IRRADIATIONS

- 1982 · 5 PROPOSED BY CEA TO PNC AT 8TH DEBENE-CEA-PNC REVIEW MEETING.
- 1986 · 9 TECHNICALLY AGREED.
- 1986 · 11 MOA SIGNED BY PNC AND SUBMITTED TO CEA.

NOW AWAITING CEA SIGNATURE.

PERFORMANCE SCHEDULE

KEY EVENT	JOYO IRRADIATION	PHENIX IRRADIATION
AGREEMENT OF SPECIFICATION DOCUMENTS	OCTOBER, 1986	OCTOBER, 1986
AGREEMENT OF DESIGN AND PLAN	OCTOBER, 1986	OCTOBER, 1986
MATERIAL SUPPLY BY CEA FOR JOYO IRRADIATION BY PNC FOR PHENIX IRRADIATION	OCTOBER, 1986	MARCH, 1987
COMPLETION OF ASSEMBLING OF TEST ASSEMBLY	THE LATTER HALF OF JFY 1987	THE LATTER HALF OF 1987
START OF IRRADIATION	THE LATTER HALF OF JFY 1987	THE LATTER HALF OF 1987
COMPLETION OF IRRADIATION	JFY 1994	1990
COMPLETION OF PIE	JFY 1996	1992

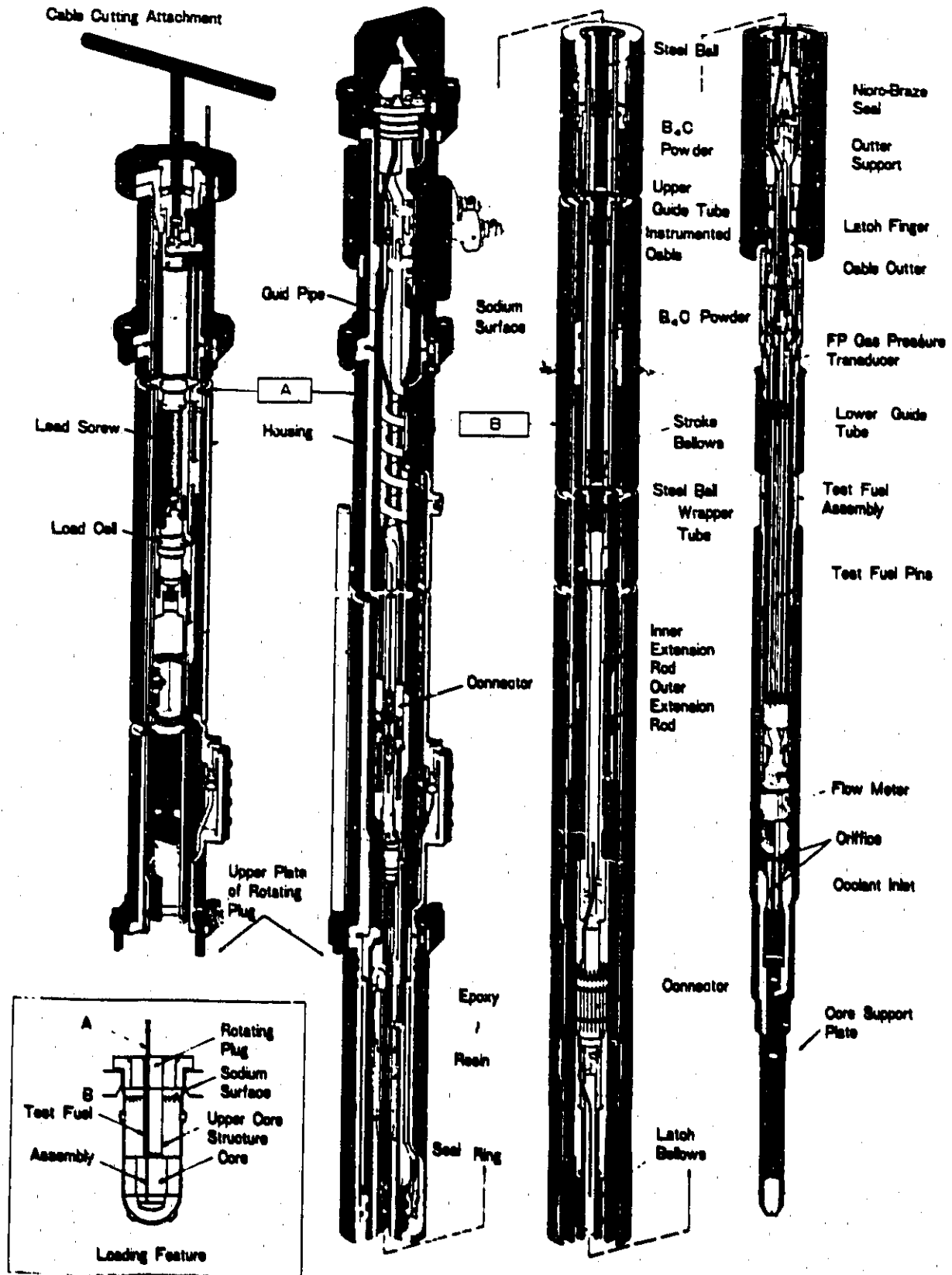
IRRADIATION CONDITIONS

I. NOMINAL IRRADIATION CONDITIONS TO BE ACHIEVED

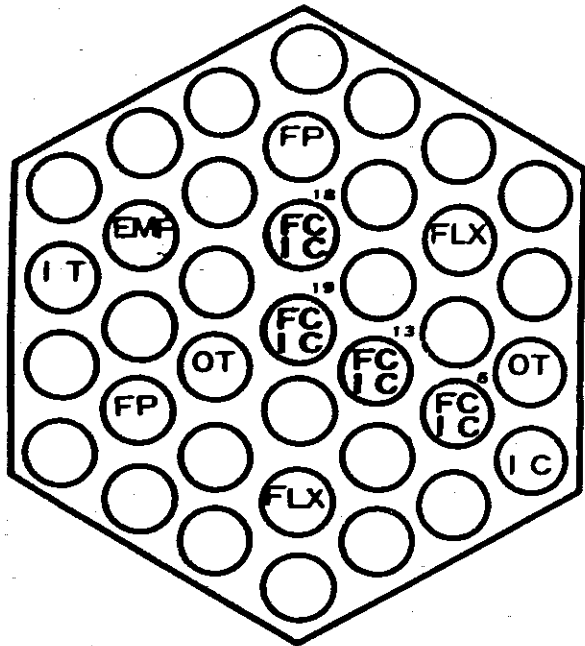
	FOR "JOYO IRRADIATION"	FOR "PHENIX IRRADIATION"
1. ASSEMBLY CHARGING POSITION	RAW 3	RAW 2 TO 1
2. MAXIMUM LINEAR POWER AT BOL	370W/cm	400 TO 360W/cm 380 TO 330W/cm
3. MAXIMUM NOMINAL TEMPERATURE OF THE CLADDING AT MID-THICKNESS AT BOL	650°C	650 TO 630°C 630 TO 620°C
4. FLUENCE TO BE ACHIEVED/(SPECIFIC BURN-UP)	130dpaF/150,000MWD/MTM	$2.3 \times 10^{23} \text{n/cm}^2$ /100,000MWD/MTM ($E \geq 0.1 \text{MeV}$)
5. FLOW RATE IN THE ASSEMBLY	TO BE ADJUSTED TO OBTAIN THE NOMINAL TEMPERATURE OF THE CLADDING AS SPECIFIED	

DESIGN OF INTA - 1

— CUTAWAY VIEWS —



DESIGN OF INTA - 1



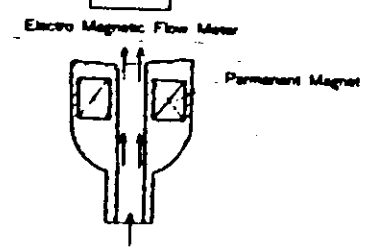
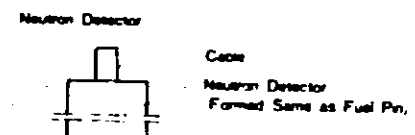
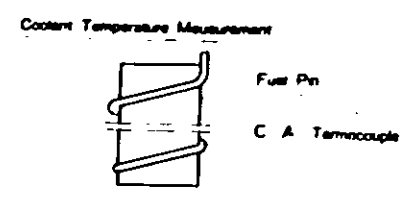
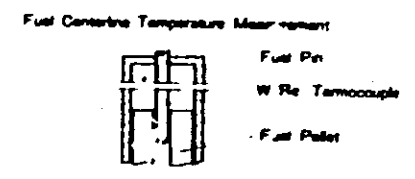
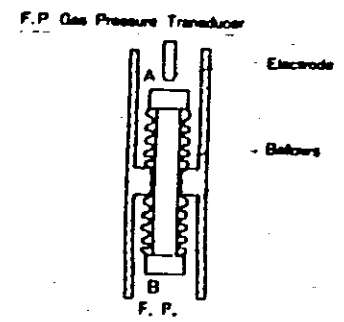
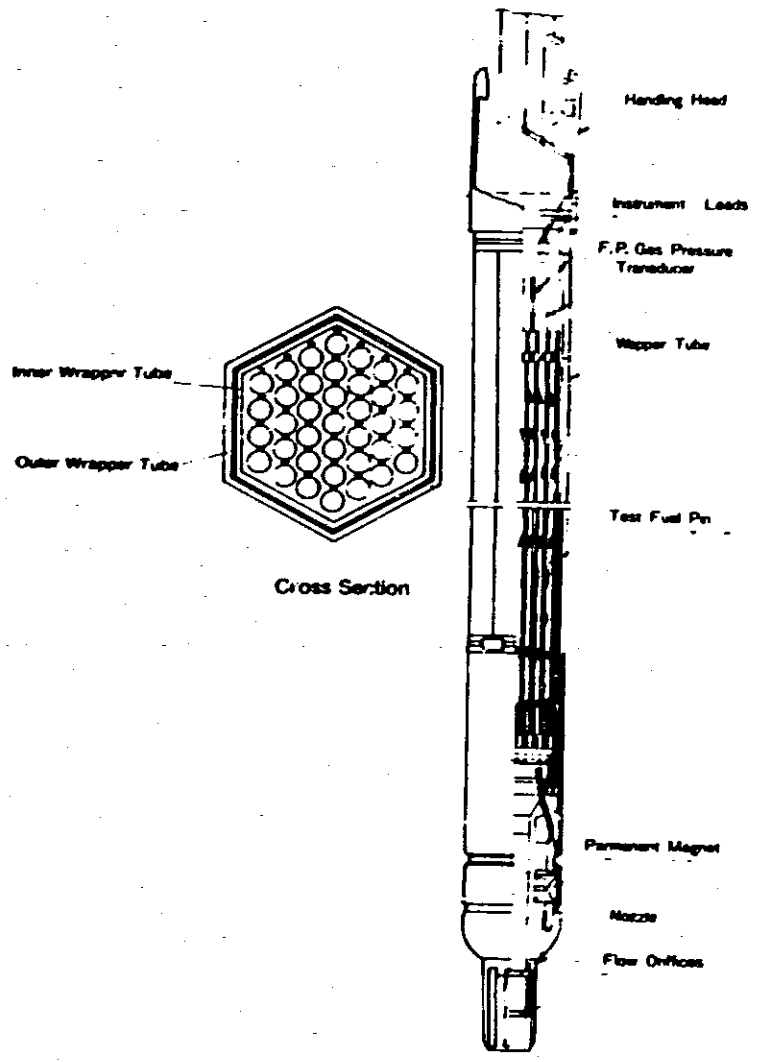
- FP : FP Gas Pressure Transducer (2)
 - FC : Fuel Centerline Thermocouple (4)
 - IC : Spacer Thermocouple (5)
 - IT : Inlet Temperature Thermocouple (1)
 - OT : Outlet Temperature Themocouple (2)
 - FLX : Flax Monitor (Dummy Rod) (2)
 - EMF : Conduit for the EMF Leads (Dummy Rod) (1)
- Pin No.

- 36 -

Arrangement of the Sensors Attached to the Fuel Rods

DESIGN OF INTA-1

— TEST SECTION —



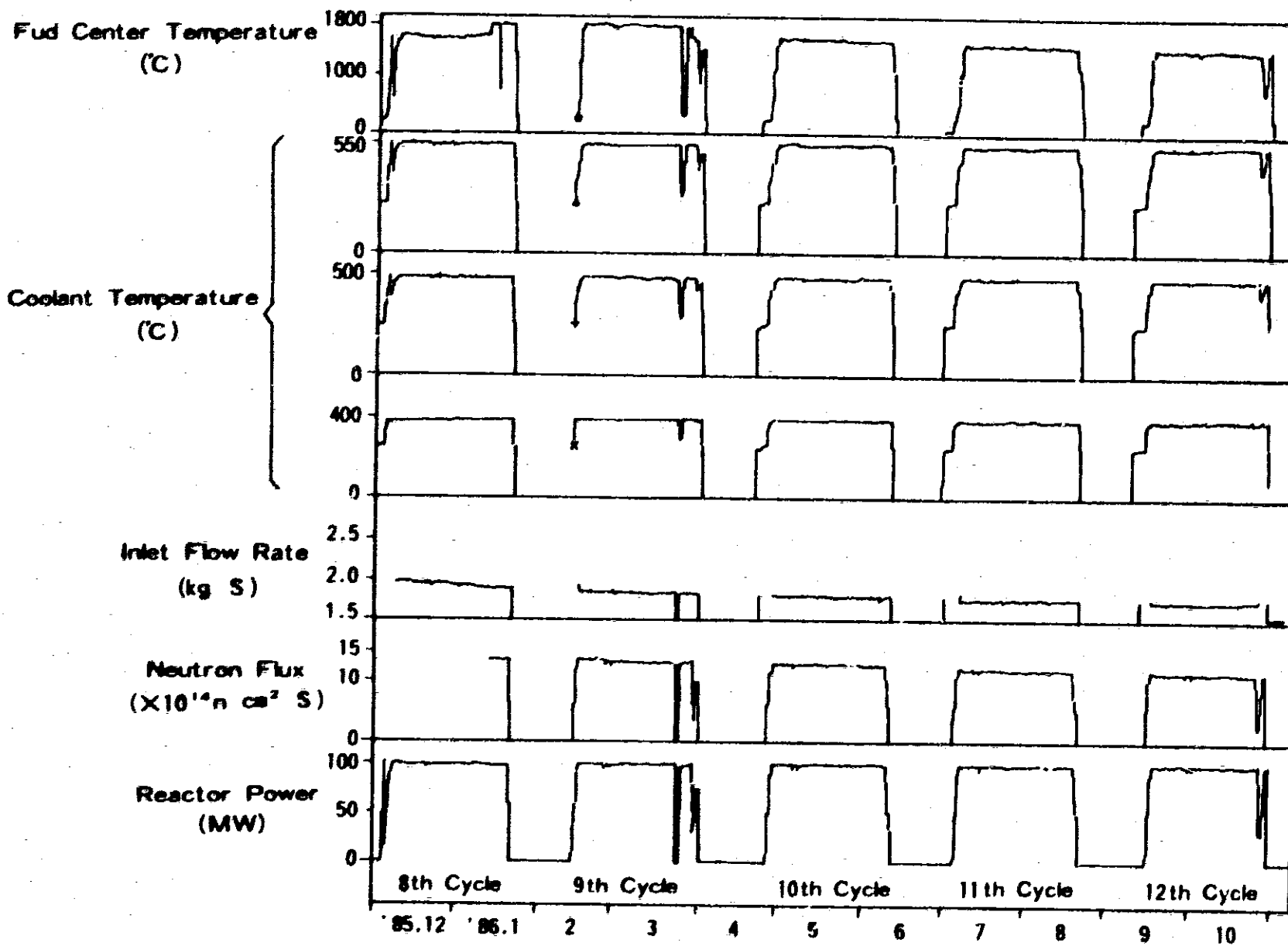
IRRADIATION TEST PLAN OF INTA - 1

OBJECTIVES

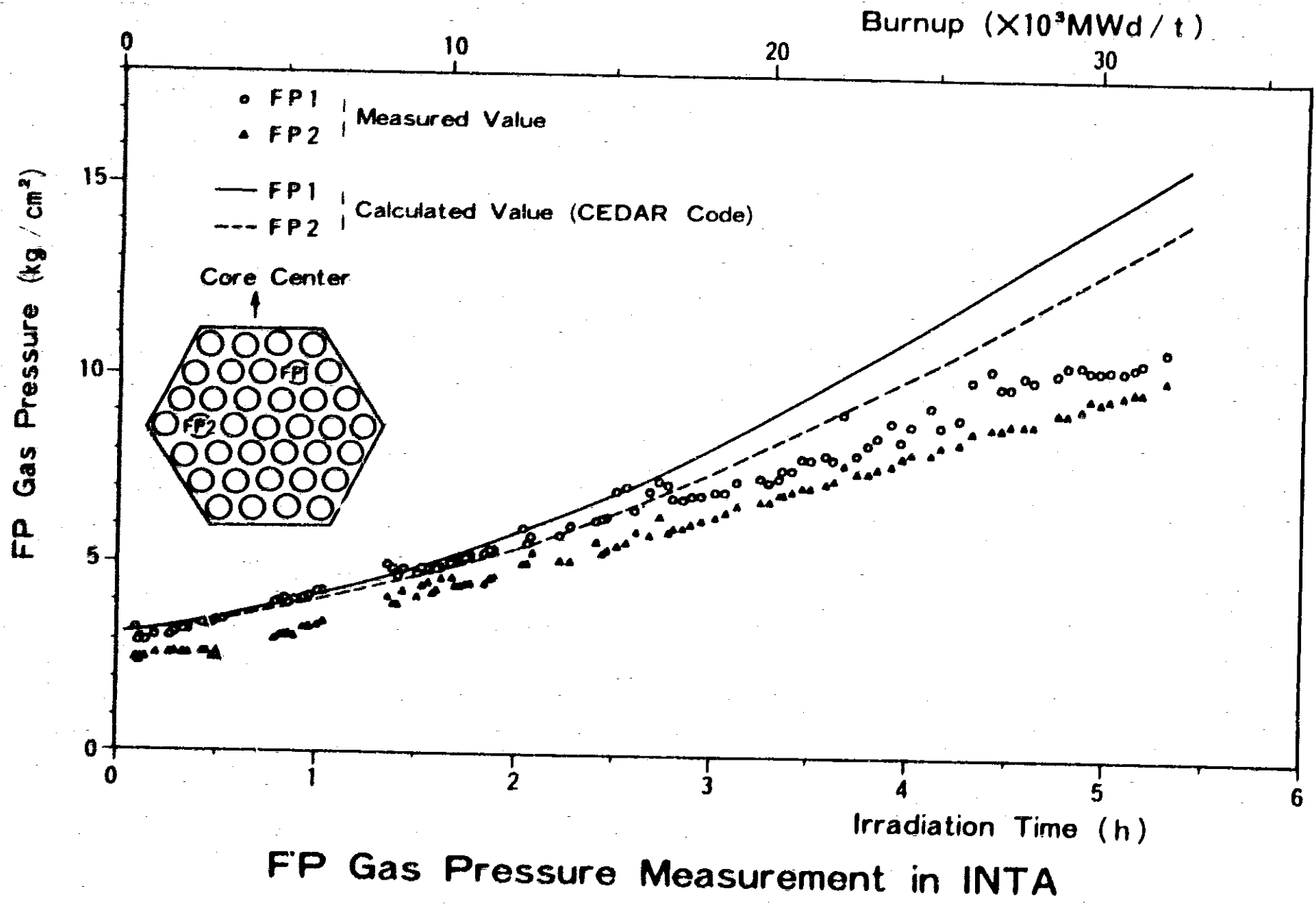
- EXAMINE INTA PERFORMANCE IN THE REACTOR
- MEASURE IRRADIATION BEHAVIOR OF "MONJU" SPECIFICATION FUEL.

IRRADIATION CONDITION

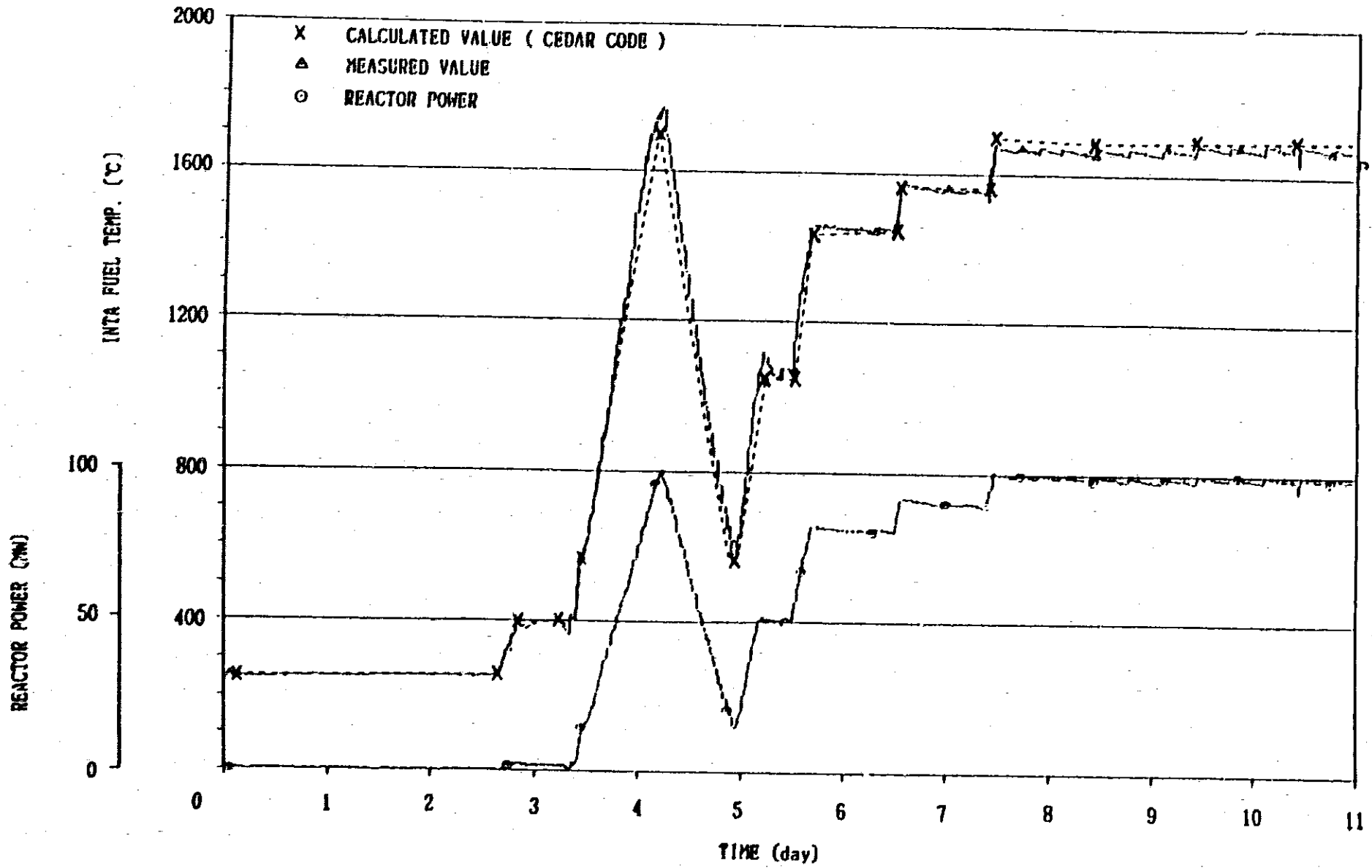
- POSITION IN THE CORE 5 F 2
- PERIOD 1985.12~1986.10 (225 EFPD)
- MAX. LINEAR HEAT RATE 360 W / cm
- MAX. CLADDING TEMPERATURE 675 °C (MID. WALL)
- MAX. FUEL TEMPERATURE
 - HOLLOWED FUEL WITH THERMO COUPLE 2000°C
 - SOLID FUEL 2200°C
- MAX. FLUENCE ($E \geq 0.1 \text{ MeV}$) $3.1 \times 10^{22} \text{ nvt}$
- MAX. BURN-UP (PIN AVERAGE) 37000 MWD / T



Irradiation Results of INTA-1



FP Gas Pressure Measurement in INTA



FUEL CENTER TEMPERATURE MEASUREMENT IN INTA-1

FUEL TEMPERATURE MEASUREMENT TEST (INTA-2)

OBJECTIVE

1. THERMAL BEHAVIOUR OF FUEL BASED ON RESTRUCTURE
2. INCREASED RELIABILITY OF FUEL BEHAVIOUR ANALYSIS

STATUS

INTA-2 PROGRAM IS IN PROGRESS

- FUEL PIN FABRICATION : 1988
- TEST RIG ASSEMBLING : 1989
- IRRADIATION, PIE : 1990

TEST CONDITION

1. PARAMETER

GAP, DENSITY, O/M, GAS COMPOSITION

LINEAR HEAT RATE

2. IRRADIATION CONDITION

● PEAK LINEAR HEAT RATE : 430W/CM

● EFPD : 10 DAYS

3. INSTRUMENTATION

NO.

● FUEL CENTERLINE TEMPERATURE : 13

● SPACER WIRE TEMPERATURE : 3

● FUEL PIN OUTLET TEMPERATURE : 2

TEMPERATURE MEASUREMENT TEST (INTA-S)

PNCT N9530 68-004

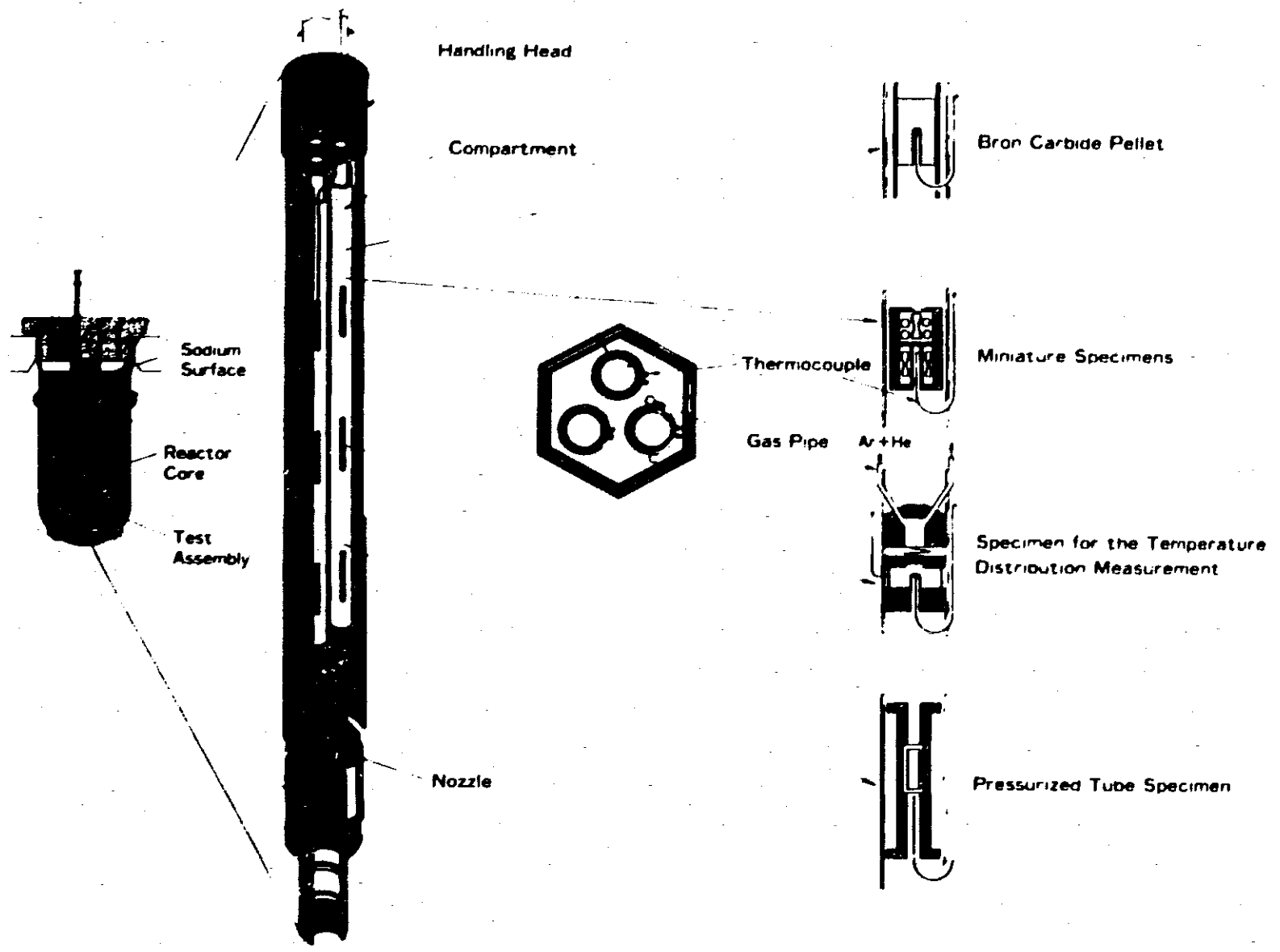
OBJECTIVE

IMPROVEMENT OF THE ACCURACY OF TEMPERATURE
EVALUATION FOR THE CONTROL ROD

STATUS

INTA-S PROGRAM IS IN PROGRESS

- TEST RIG ASSEMBLING : APRIL, 1987
- INSTRUMENTATION IN THE CORE : MAY, 1987
- IRRADIATION : OCT, 1988-1990
- PIE : 1990



Instrumented Test Assembly (INTA-S)

FUTURE SCHEDULE OF INTA TEST

1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
	INTA-S					
			INTA-2 □			
				LOAD FOLLOWING TEST		
					TRANSIENT TEST	

PNCT N9530 88-004

Alphabet Project

- R&D of the Techniques for Reducing Maintenance Radiation Exposure.
 - 1 . CP Behavior Analysis Technique.
 - 2 . CP Control Technique.
 - 3 . CP Decontamination Technique.
 - 4 . CP Elimination Technique.

Aministration

Activities

1. B - WG
 - Analysis of CP Behavior in the Primary System.
 - Development of CP Behavior Analysis Code.
2. C - WG
 - Development of Coblat-free Hard Facing Material.
 - Development of CP Trap. que.
3. D - WG
 - Development of Chemical Decontamination Technique.
4. E - WG
 - Analysis of CP Properties in the Waste Water.
 - Improvement of the Wastewater Disposal System.

Computer Application to JOYO

- Operation Support System
 - Plant Control Data Acquisition and Processing (JOYDAS)
 - Plant Operation Expert System (JOYCAT)
- Maintenance Support System
 - Reliability Data Base System (FREEDOM)
 - Maintenance Expert System (MASCOT)
- Anomaly Monitoring System for Mechanical Components
 - Rotary Components (Pumps, Blowers)
 - Control Rod Drives
- Data Banking System for Fuel
- Refueling Sequence Programming
- Control Rod Operation Automation

Development of Operation and Maintenance Support System at JOYO

PNCT N9530 88-004

1 . Operation Support System

What is the First Hit Alarm ?

What is the Emergency Action ?

2 . Maintenance Assistant System

What is the Cause of a Trouble ?

How Do We Repair it ?

What Plant Condition is Needed ?

How Do We Make Schedule of Annual Inspection ?

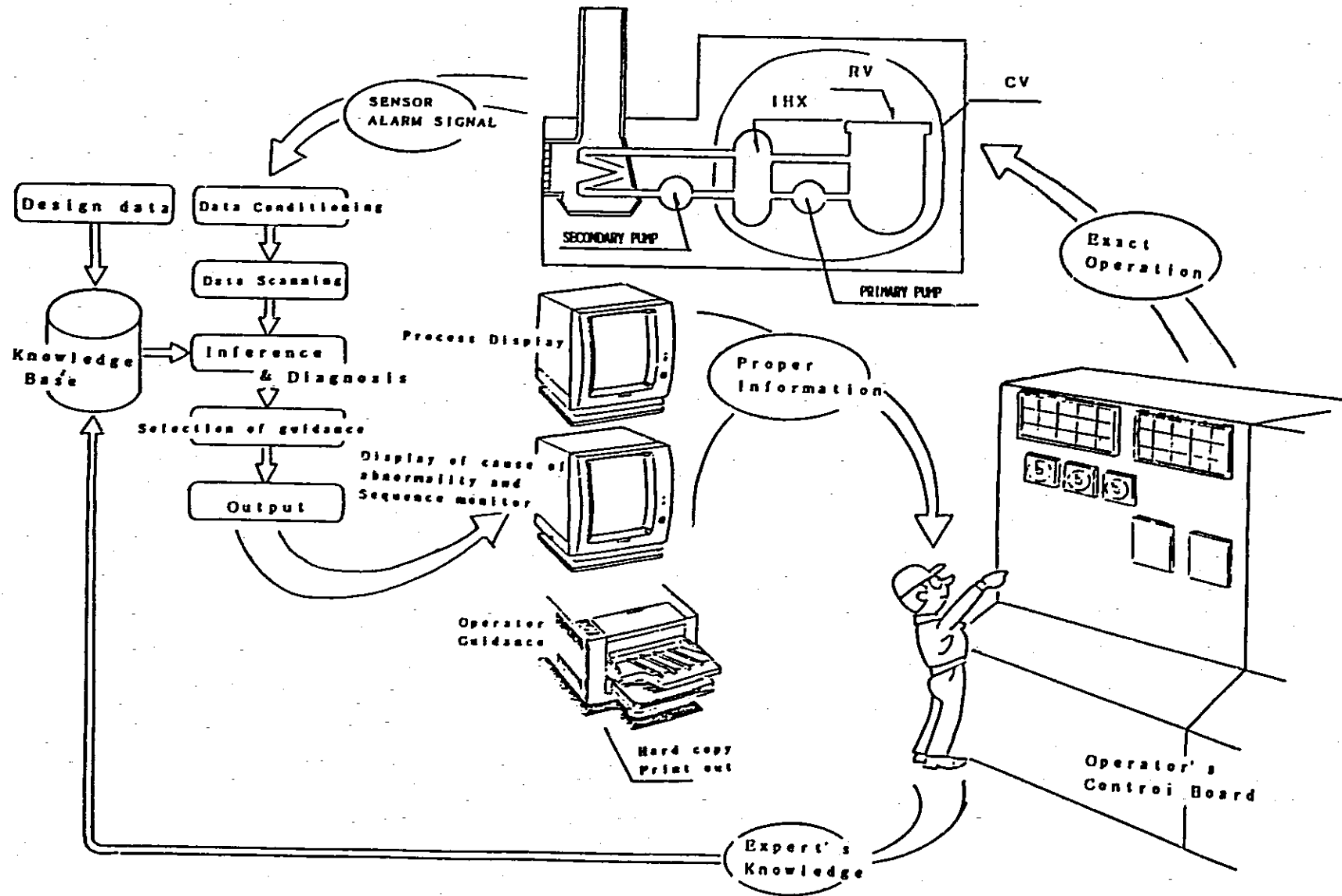
3 . Fuel Handling Support System

What is the Most Appropriate Procedure ?

What is the Schedule ?

Operator Support System

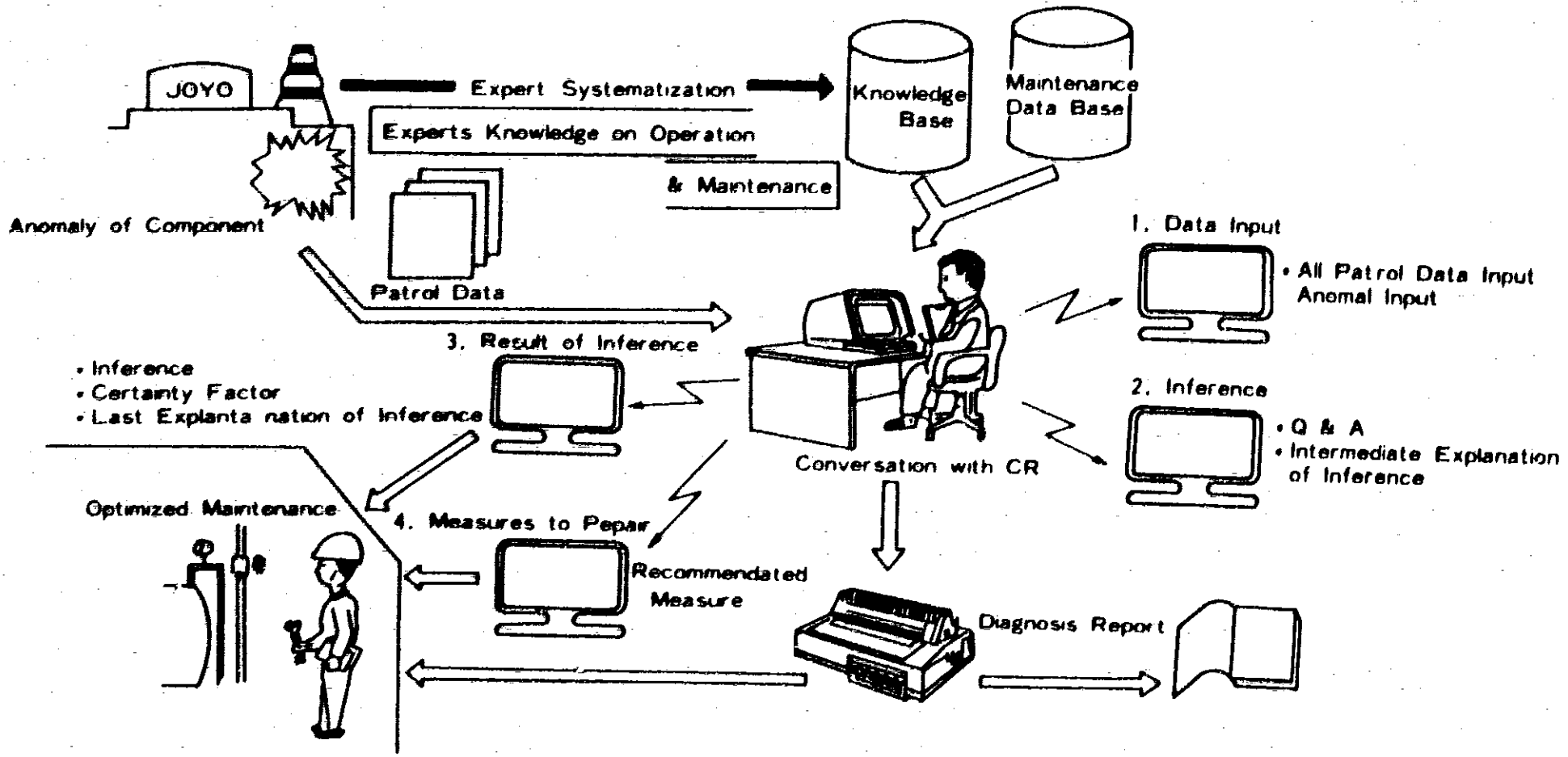
PNCT N9530 88-004



Operator Support System

ENCT N5533 88-004

FUNCTION	OUTLINE
Operation guidance for abnormal condition	Display and printing of operation block diagrams and operation procedures on CRT and hard copy machine.
Summary display of abnormal condition	Summary display of reactor core and various parts of plant at abnormal condition on CRT and printer.
Sequence monitor	Monitoring the action of interlock and protection of major instrumentation and device.
Plant diagnosis	Diagnosis by monitoring deviation from normal plant parameter using analytic standard model.
First alarm	First alarm identification from numerous alarms at abnormal condition.
Prediction as to plant condition	Prediction as to plant condition after plant trip by simplified numerical dynamic model.



1-53

Maintenance Assistant System

RESEARCH AND DEVELOPMENT ACTIVITIES IN JOYO

Major contribution to Area	JOYO itself	Future FBRs through JOYO	Future FBRs through MONJU	Large FBRs	Common Basic Technology
Operation and Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> completion of emergency procedure operation manual production of components ring system study of cover gas cleanup 	<ul style="list-style-type: none"> training of FBR operators completion of complete series of operation technology development of maintenance expert system development of operation support system standardization of C/V leak rate test measures against self corrosion development of robot for filter replacement 	<ul style="list-style-type: none"> standardization of sodium purity control 	<ul style="list-style-type: none"> study of spent fuel cleaning system 	<ul style="list-style-type: none"> completion of operation & maintenance data ALPHABET project chemical analysis of waste water for spent fuel washing
Core and Fuels	<ul style="list-style-type: none"> OBS for PIE control rod calibration operation test on low coolant flow rate measurement of isothermal reactivity coefficient 	<ul style="list-style-type: none"> research of operational core behavior (power & burnup coefficient) modification of control rod development of spent fuel storage technology re-evaluation of hot spot factor 	<ul style="list-style-type: none"> irradiation test for MONJU fuels 	<ul style="list-style-type: none"> irradiation test for Large FBR fuels long life fuel element long life control rod ferrous steel neutron shield high linear heat rate fuel 	<ul style="list-style-type: none"> dosimetry detailed evaluation of gamma heating measurement of decay heat simplification of fuel handling system evaluation of reduced reactivity
Components	<ul style="list-style-type: none"> heat transfer characteristic test of purification system economizer operation without pit shield study of sodium trap 	<ul style="list-style-type: none"> improvement of liquid waste disposal system protection from freeze test metal oxidation verification of mechanical scrubber measures against sodium vapor deposition 	<ul style="list-style-type: none"> evaluation of heat radiation through temperature distribution measurement study of optimum pre-heating 	<ul style="list-style-type: none"> high performance cold trap optimization of purification system 	
Instrumentation and Control	<ul style="list-style-type: none"> power calibration wire & damper characteristic test of duty heat exchanger improvement of "JOYDAS" installation of BN detector 	<ul style="list-style-type: none"> development of component monitoring development of cover gas sampling method FFD characteristic test study of online cover gas gamma ray monitor MI-sequence & stability test 	<ul style="list-style-type: none"> development of tag gas analysis code tag gas enrichment test development of wide range neutron detector 		<ul style="list-style-type: none"> S/A outlet temperature measurement S/A outlet flowmeter characteristics FFDL (wet tapping) in-service calibration of EMF aging of CA thermocouple
Thermohydraulics	<ul style="list-style-type: none"> core flow distribution measurement 	<ul style="list-style-type: none"> natural circulation test pressure drop measurement of primary HTS 			<ul style="list-style-type: none"> secular change of S/A pressure drop
Structure and Material	<ul style="list-style-type: none"> reevaluation of structural integrity thermal shock evaluation of over flow system & secondary auxiliary system thermal stress evaluation 	<ul style="list-style-type: none"> development of thermal shock analysis code "JOYSTEP" 	<ul style="list-style-type: none"> irradiation test for structural material 		<ul style="list-style-type: none"> in-situ surveillance test extension of irradiation field
Others	<ul style="list-style-type: none"> cost evaluation for waste-heat utilization 			<ul style="list-style-type: none"> design study of seismic isolation structure 	<ul style="list-style-type: none"> characteristic test of seismic response

Operational Experience of JOYO

Oral paper for the 5th DeBeNe/CEA - ENEA - Japan
FBR Cooperation Review Meeting at Tokyo on January 20, 1987

(0) Covering ; Operation Experience of JOYO

Thank you chairman. Good afternoon gentlemen.

My name is Nara of Experimental Reactor Division of OEC.

This is the first chance for me to make a presentation about JOYO experience at this Japan-DeBeNe-France review meeting, because I've moved to JOYO from Large Scale FBR group of PNC one and half year ago.

(1) JOYO-Rapsodie-KNK-II Meeting at Karlsruhe, July 1985

Before introducing JOYO story, I'd like to express my great appreciation for Dr. Marth and Mr. Chaumon and your colleagues to make the 4th Joyo-Rapsodie-KNK-II Operation Experience Information Exchange Meeting success for us at Karlsruhe, July 1985.

And, I have to apologize that we could not prepare the fifth meeting at Oarai at the end of last year on schedule. Today I'd like to remind you our invitation that is the next meeting be next Spring at Oarai as already proposed in my letter sent to you last December.

(2) JOYO-PHENIX-KNK-II Meeting, Tentative Items

The items to be discussed in the meeting have been proposed by myself at the last meeting at Karlsruhe, illustrating the items, as you remember, such as (1) Operational procedure after abnormal event and (2) Plant conditioning during long time maintenance. I'd like to discuss about the schedule and the items with you later.

(3) Picture; JOYO in Night

Now, this is JOYO in night. JOYO has gone very well in the beautiful

circumstances of Oarai town particularly in night since its first criticality in 1977.

So if we can have the above mentioned next meeting in this April, we will be particularly happy because we can celebrate the 10th anniversary of JOYO together with you.

(4) Picture: JOYO Over view

JOYO is this, too. But, this is not artistic but engineering picture. This is reactor building and this is fuel monitoring facility. Here we can find some buildings which didn't exist at the time of initial criticality 10 years ago.

(5) JOYO COMPLEX

Such new buildings are Irradiation Rig Assembling Facility, Operator Training Simulator building, Spent Fuel Storage Facility, Library and Warehouse. These are apparent changes. Besides we have many modifications in the building or on the plant including core. So, we can say, JOYO is new, year by year.

(6) PNC Oarai Engineering Center

The location of JOYO is shown here. It is at Oarai town the town-people charter of which declares "we inspire the light of atom.....". Oarai town is near Mito city which is around 100km North far from Tokyo.

(7) JOYO Operation History

This shows whole operation history of JOYO since its first criticality. After the last Review Meeting, I'm sure, held in France May 1984, JOYO went into its "real" cycle operation and generated 1.5 times heat before that time. Many tests and experiments have been carried out and planned on JOYO which

bring development of FBR key technologies for MONJU, Demonplant and wide-range future use.

(8) Main Plant Parameters of JOYO

This table shows the main plant parameters of JOYO you know well already. Today I'd like to point out only one thing: the main Secondary Heat Transport System including air coolers is made of chromemolibdenum-ferritic steel. So, we can say, we have had 10 years experience about ferritic steel use on real FBR plant.

(9) Operational Experience of JOYO

The accumulated reactor operation time is 28 thousand hours and 2 billion kWhs of heat has been generated to date. Number of reactor start-ups including criticality test is approximately 4 hundreds and number of core subassemblies handled by the fuel handling system is 14 hundreds.

(10) Main Results Confirmed Through Operation

Design performances and characteristics of JOYO have been confirmed through its operation. Corrosion product accumulation is carefully investigated in order to reduce future occupational radiation exposure which is approximately 200 man-rem in total to date.

Maximum earthquake experience to date is 33 gals (at MIYAGI-OKI Earthquake in 1970.) Unscheduled outage time in total is about one percent of the reactor operation time, most cause of which are losses of power because JOYO generates no electricity.

(11) Histogram of Fuel Irradiation

JOYO has utilized 33 thousands of the core fuel pins to date without failure, 5 thousands pins of which have been examined post irradiation at the adjacent Fuel Monitoring Facility.

Maximum burn up is 50,000 MWd/t as driver fuel and 70,000 MWd/t as sample fuel.

(12) Budget of Operation

JOYO spends money around 5 billion Yen per year.

(13) Project objectives of JOYO

This shows fundamental functions of JOYO in FBR development project in Japan.

That is: (1) acquisition of operation experiences of a FBR plant through which the "real" characteristics of FBR itself can be understood, (2) irradiation of fuels and materials including for other field, and (3) demonstration test for the new FBR technology development. An example of the third item is now investigated plan of double wall steam generator installation to JOYO.

(14) Development task with "JOYO"

In order to realize above mentioned fundamental functions, all activities at JOYO are centered to two pillars that are (1) to keep "stable operation" and (2) to develop wide "utilization of JOYO".

The "stable operation" includes "availability improvement" because establishment of low cost operation is important even for existence of JOYO itself. For the second pillar, a specialist committee on "JOYO Utilization" has been prepared by PNC and "JOYO Utilization working Group" has been established in Oarai Engineering Center.

(15) Improvement of plant availability

Availability improvement at JOYO is approached through several ways shown here.

The first way has been already opened due to that we have taken the licence of longer fuel burn up last summer which will bring longer operation

cycle.

(16) Improvement Plan of JOYO Core Efficiency

In the licence mentioned above, the new specification of fuel is applied and driver core fuel burn up extends to 75,000 MWd/t.

(17) Maintenance activities of JOYO

Principle of maintenance activity of JOYO is "Preventive Maintenance" as shown here.

(18) Major modifications and installations

This table shows major modifications of JOYO plant. One of two primary cold traps will be exchanged to be modified and the cesium trap will newly be installed this year.

(19) Experience of fuel handling system of JOYO

Typical difficulty we encountered is sodium deposition around the rotating plugs.

(20) Time-dependent-characteristic tests for JOYO

As I mentioned before, we have carried out many tests, measurements and experiments on JOYO.

One is a series of time-dependent-characteristics tests shown here which are performed each operation cycle or each year.

(21) Topical tests in JOYO

Other tests can be categorized topical tests, the needs of which come from several fields such as Monju group, demo-plant group, R & D group and

JOYO itself. Of course, we welcome your needs, if you have.

As examples, some results of natural circulation test, tag gas test and reactor building forced excitation test will be mentioned.

(22) JOYO natural circulation test (MK-I core)

A series of natural circulation tests started 5 years ago and finished last October. This table shows the test results with MK-I core.

(23) JOYO Natural Circulation Test (MK-II core)

This table shows the test results with MK-II core.

(24) Coolant Outlet Temperature of Center Fuel Assembly

This is the typical results of the final test of a series of natural circulation experiments. Prediction calculation was made using the dynamic codes of MIMIR-N2 and COMMIX which have been modified through preceding tests. It agreed well with the test results.

(25) Adsorption Isotherm of Krypton with Activated Carbon

The second example of the topical tests in JOYO is the tag gas test in which a basic research such as krypton adsorption characteristics of activated carbon is carried out.

(26) Results from Forced Excitation Test

The reactor building of JOYO is deeply embedded in the quaternary ground. In order to examine aseismicity of embedded structures and to clarify embedment effect a series of forced excitation tests was performed as the collaboration work with CRIEPI.

The test was the first large scale experiment in the world and went very well.

(27) Comparison between Analysis with Design Model and Experiment for Horizontal Displacement Response Curves under JOYO Forced Excitation Test

A result of the test is shown here, comparing with analysis with design model. The experimental value of horizontal displacement response of the reactor building was 3-4 times smaller than of the analysis.

(28) Comparison between Design and Experiment

The damping constant of soil-structure interaction is calculated from the test results to be 56% while the design value is 10%. The reactor building of JOYO is deeply embedded in soft soil, and the side of the structure plays an important role in increasing stiffness and damping effect of the total system.

(29) Irradiation Test Program for FBR Fuel at JOYO

This figure show JOYO irradiation test program for FBR fuel and core materials development. At the middle of the figure you can see JOYO-Phenix irradiation exchange program shown as C4F and instrumented test assembly irradiation series as INTA-1 and 2.

(30) JOYO AND PHENIX EXCHANGE IRRADIATION

The JOYO-Phenix fuel irradiation exchange program was proposed in 1982 and the memorandum of agreement was already signed by both PNC and CEA just before this review meeting.

(31) PERFORMANCE SCHEDULE

The performance schedule of the program is shown here. The irradiations will start at JOYO and Phenix in the latter half of 1987.

(32) IRRADIATION CONDITIONS

This table illustrates the irradiation conditions both for JOYO and Phenix

irradiations in which burn ups to be achieved are 150,000 and 100,000 MWd/t respectively.

(33) DESIGN OF INTA-1 — SECTION VIEW —

The instrumented test assembly No.1, INTA-1, is around 10m long device at the lower part of which the test fuel assembly is hung down, and installed in the upper core structure of JOYO reactor as shown in this figure.

The device can draw the fuel part up into the core upper structure during refueling operation, maintaining the cover gas boundary with stroke bellows. It has a cable cutter at the top of the test fuel assembly which can cut 19 cables simulataneously in one action after finishing whole irradiation.

(34) Arrangement of the Sensors Attached to the Fuel Rods

The test fuel assembly of INTA-1 consists of 37 fuel rods some of which are instrumented for fission gas pressures, fuel center temperatures, sodium temperatures and neutron fluxes as shown here. INTA-1 has also a electromagnetic flowmeter for whole flow rate at the inlet position.

(35) DESIGN OF INTA-1 — TEST SECTION —

This figure illustrates the position and principle mechanism of each sensors. Fission gas pressure guaze is null balance type. Fuel center temperature is measured by W/Re thermocouples.

(36) IRRADIATION TEST PLAN OF INTA-1

This table shows the irradiation conditions of INTA-1. It was irradiated at the peripheral position of JOYO core from December 1985 to October 1986 with the maximun neutron fluence of 3.1×10^{22} nvt.

(37) IRRADIATION RESULTS OF INTA-1

The temperature change profiles of fuel center and sodium coolant were obtained through five operation cycles as shown in this graph.

(38) FP Gas Pressure Measurement in INTA

The fission gas pressure data obtained shows linear build up of the pressure while the predicted value by the present calculational code CEDER shows pressure rising up from approximately 20,000 MWd/t of burn up.

(39) FUEL CENTER TEMPERATURE MEASUREMENT IN INTA-1

This figure shows the fuel center temperature change along with reactor power change at the first power up for INTA-1 irradiation.

Whole pattern shows good coincidence between power and temperature. From detail observation it can be found that the measured temperature becomes lower than the predicted after the second power peak. This suggests earlier change of fuel pellet restructuring due to initial irradiation.

(40) FUEL TEMPERATURE MEASUREMENT TEST (INTA-2)

We have another plan of instrumented fuel test assembly called INTA-2 program. The objective of the program is to measure the behaviour of fuel due to fuel pellet restructuring especially at the beginning of irradiation and to increase the reliability of fuel behaviour analysis.

The schedule of INTA-2 program is as shown in this table. The fuel pins fabrication will be performed in 1988, the test rig assembling in 1989, and the irradiation and PIE in 1990.

(41) TEST CONDITION

The test parameters of INTA-2 is to be pellet-cladding gap size, pellet density, inner gas composition and linear heat rate of the fuel pins.

The irradiation will be for 10 days at the maximum linear heat rate of

430 W/cm. The instrumentation is to be prepared with more thermocouples for fuel center temperature than INTA-1 as shown here.

(42) TEMPERATURE MEASUREMENT TEST (INTA-S)

We have also a plan of instrumented test assembly without fuel pins called INTA-S program which is to make temperature measurement in order to improve the temperature measurement accuracy for structural material and absorber material irradiation.

The schedule is as shown here, test rig assembling and installation will be performed in 1987, irradiation from 1987 to 1990, and PIE in 1990.

(43) INSTRUMENTED TEST ASSEMBLY (INTA-S)

This figure illustrates the principle of structure of test specimens in the test assembly part of INTA-S.

(44) FUTURE SCHEDULE OF INTA TEST

This table summarizes irradiation schedule of INTA-2 and INTA-S

(45) Alphabet Project

We have a project of technology development for reducing personnel radiation exposure in Oarai Engineering Center. The Project is the collaborative activity between JOYO Division and Systems and Component Development Division, and is named Alphabet Project because it consists of Administration, Behavior analysis, Control, Decontamination and Elimination technology of corrosion product in the reactor primary coolant sodium system.

(46) Activities

Each working group of the Alphabet Project has the correspondent activity shown in this table. The corrosion product behavior analysis code named

SYCHE has been confirmed through analysing the distribution data of corrosion product in the primary coolant system of JOYO.

Some cobalt free hard facing materials and corrosion product trap materials have been selected based on out-pile tests. The selected test samples have been charged in JOYO as the demonstration test.

Some chemical decontamination techniques have been trially used for maintenance of some primary components.

(47) Computer Application to JOYO

The last item presented today is the computer application to JOYO.

In this area we are developing utilisation of artificial intelligence technique for plant operation expert system JOYCAT, maintenance expert system MASCOT and refueling sequence programming system JOYREP.

(48) Development of Operation and Maintenance Support System at JOYO

This table illustrates the main functions of the systems utilizing artificial intelligence under development at JOYO.

These systems will be advanced for MONJU utilization in future.

(49) Operator Support System

The principle of the plant operation support system is illustrated in this figure. The operator experts knowledge is installed in the knowledge base which together with data from the plant itself makes necessary inference or diagnosis and brings proper operation information to plant operators.

(50) Operator Support System

This table summarizes main functions and outputs of the operator support system of JOYO.

(51) Maintenance Assistant System

This figure illustrates the principle of the maintenance support system of JOYO. Experts knowledge base, maintenance data base and patrol data make proper inference and inform proper actions to the maintenance people.

(52) RESEARCH AND DEVELOPMENT ACTIVITIES IN JOYO

We have many research and development activities in JOYO other than items presented today. All activities contribute to commercialization of FBR through JOYO, MONRO and so on.

Thank you.

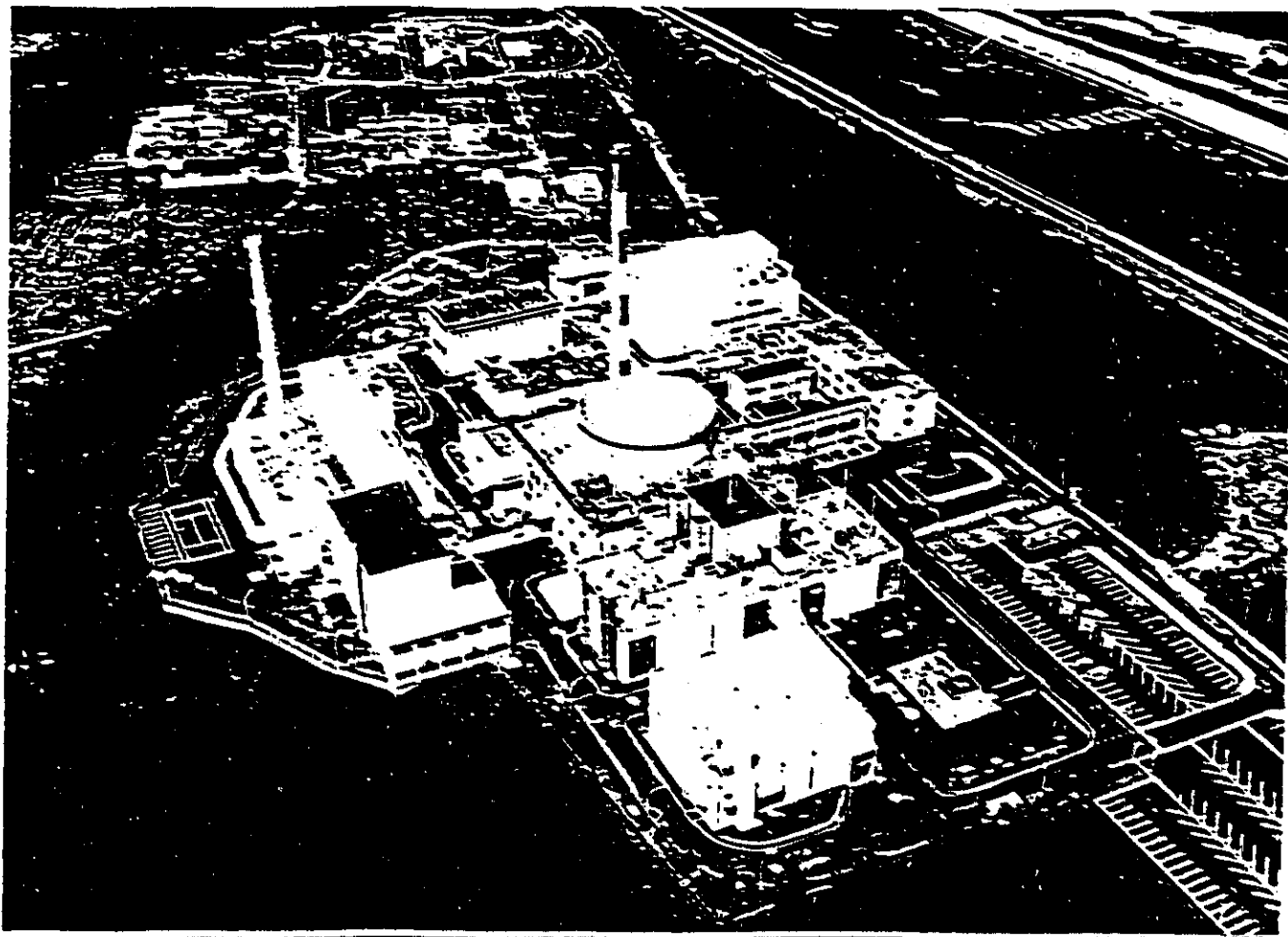
2. 高速実験炉「常陽」における開発と今後の計画

—炉心管理技術と燃料の開発—

高速実験炉「常陽」における 開発と今後の計画 —炉心管理技術と燃料の開発—

(スライド L-0 R-0)

唯今御紹介頂きました動燃事業団大洗工学センター実験炉部の奈良でございます。実験炉部は新型転換炉用の重水臨界実験装置「DCA」と、高速増殖炉の実験炉「JOYO」の2つを担当しておりますが、今日は、表題にありますように高速実験炉「JOYO」における開発と今後の計画について焦点を炉心と燃料において御報告申し上げます。



1. (サイト L1R-0)

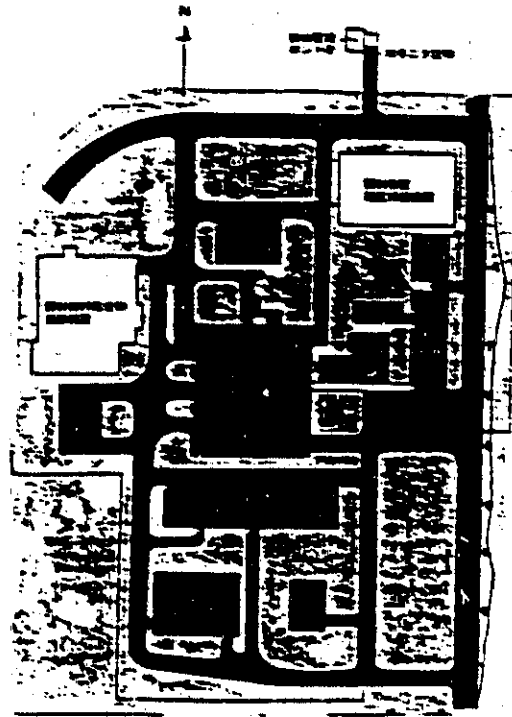
ここにお出での皆様のかかりの方々は、「JOYO」の設計・建設・運転・維持あるいは関連研究開発の進捗に直接間接に貢献なされた方々と思っておりますので、すでに御存知と存じますが、「JOYO」は茨城県大洗町の太平洋近くに設置されています。

大洗町は風光明媚な土地でもあり、又その町民憲章に「原子の灯を育て」という言葉も入っている町であり、JOYOは自然環境にも社会環境にも恵まれた中に育っているわけでもあります。

「JOYO」は、専門語で言いますと、熱出力10万kW、100 MWのU・Pu混合酸化物燃料・Na冷却の高速中性子炉の実験炉であって、発電はしていません。

実験炉・原子炉・実証炉を経て実用化に向かう我が国の高速増殖炉開発プロジェクトの第1ステップに位置づけられ、高速増殖炉という新しいタイプの原子炉プラントの運転経験の取得、燃料・材料の照射、さらにはFBR技術高度化のための新技術の実証試験という基本的な役割を担っています。

原子炉施設全体配置図



2 (スライド L-1 R-2)

昭和39年に予備設計、40年から43年にかけて概念設計、44年から45年の安全審査ののち、45年に着工しました。

この時点で、このスライドに示す全体配置が出来上がっていたわけですが、今日のわたくしの本題であります燃料開発に関係する部分を申し上げます。

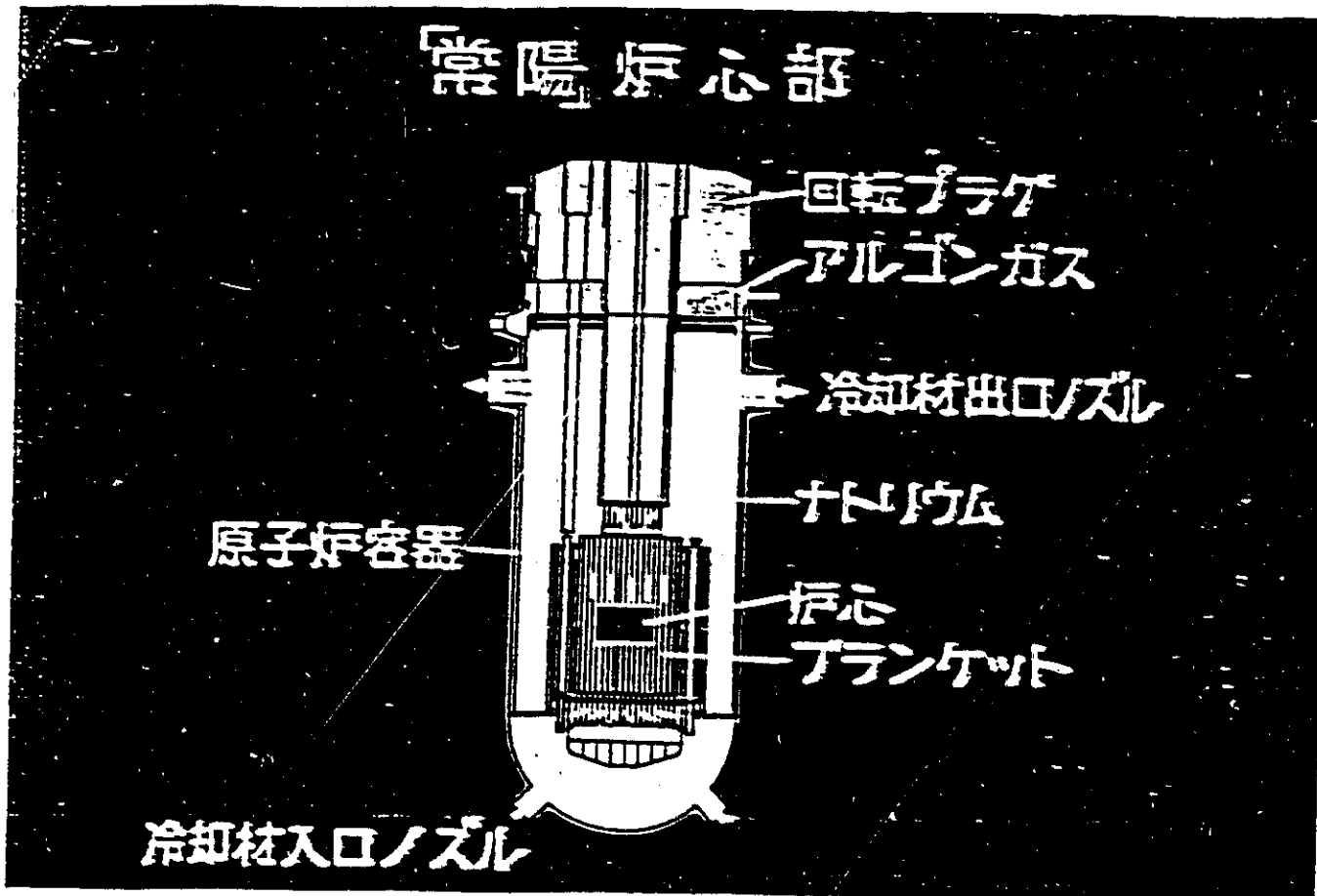
原子炉本体の西側に、照射した燃料を試験するいわゆる照射後試験、よくPIEなどと略称しますが、Post Irradiation Examinationをする照射燃料集合体施設が併設されております。

右側には、あとで出て来ます照射用の特殊燃料集合体などの組立をする照射装置組立検査施設があります。

炉心は、この丸い原子炉建物の中心より少し北寄りであって、燃料は東側から入り、炉心で使用したのち、西側から出て行くことになります。

左側(前頁①)のスライドの全景写真も、この全体配置図と向きがほぼ合っていますので、今申し上げた施設の感じがお分かり頂けるかと思えます。

「JOYO」は昭和52年にブランケット燃料をもった増殖炉心、MK-I炉心とも言っていますが、それで初臨界になり、少しずつ出力を上げながら多くの特殊試験を行いました。昭和53年に50 MW、54年に75 MW、これで暫く運転を続けたあと、57年にブランケットをとって中性子レベルを高めた照射用炉心、MK-II炉心とも言いますが、これに変えて、3年前の58年にようやく定格出力である100 MWになりました。

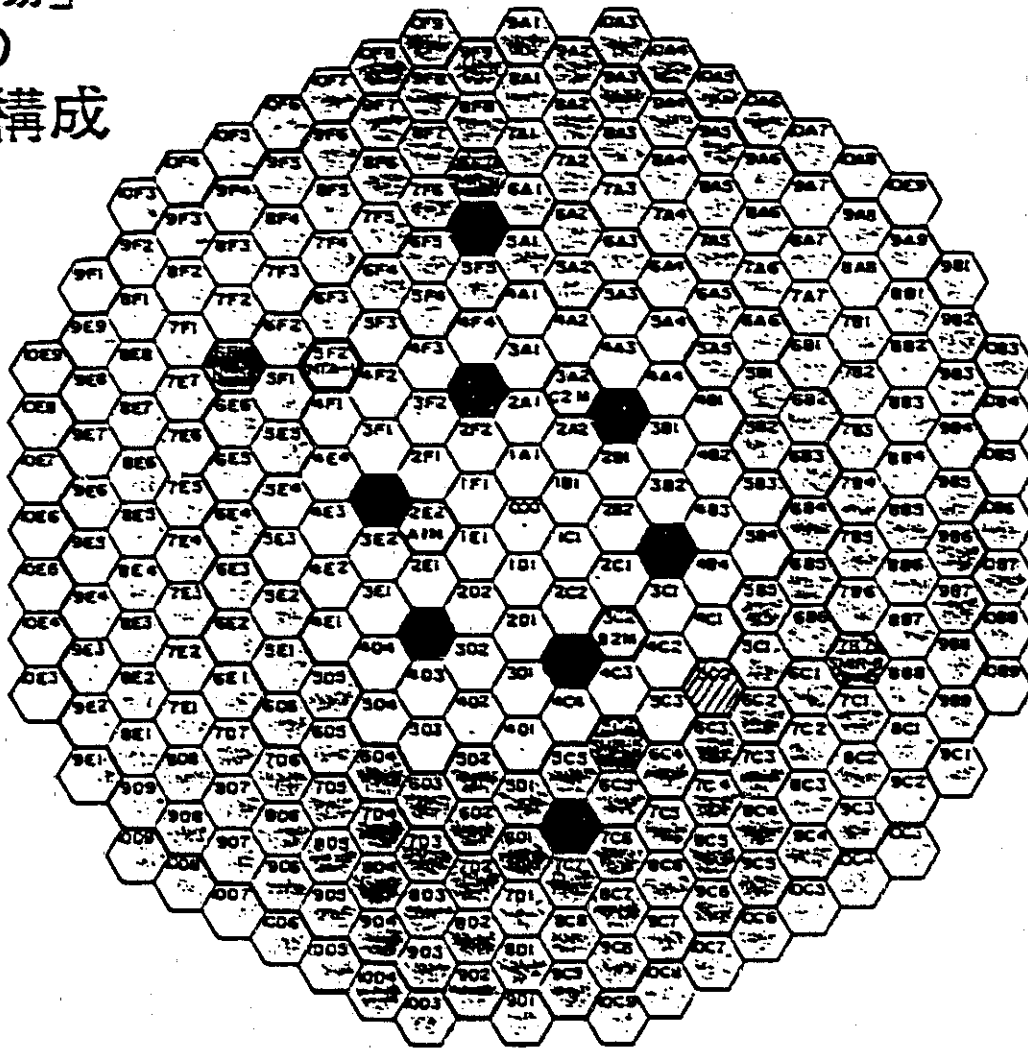


3 (スライド L 2 R-1)

これは、炉心を入れる原子炉容器の垂直断面図であります。これが原子炉建物の中に設置されています。この図はブランケットのある増殖炉心、MK-I炉心の時の絵ですが、先程申し上げましたように、今はMK-II炉心になってブランケットの代わりに中性子反射体で炉心を取り囲み、内部の中性子レベルを高くしています。

上の冷却材Naは下から370℃で入り、炉心で加熱されて上から平均温度500℃で出ていきます。

「常陽」 の 炉心構成



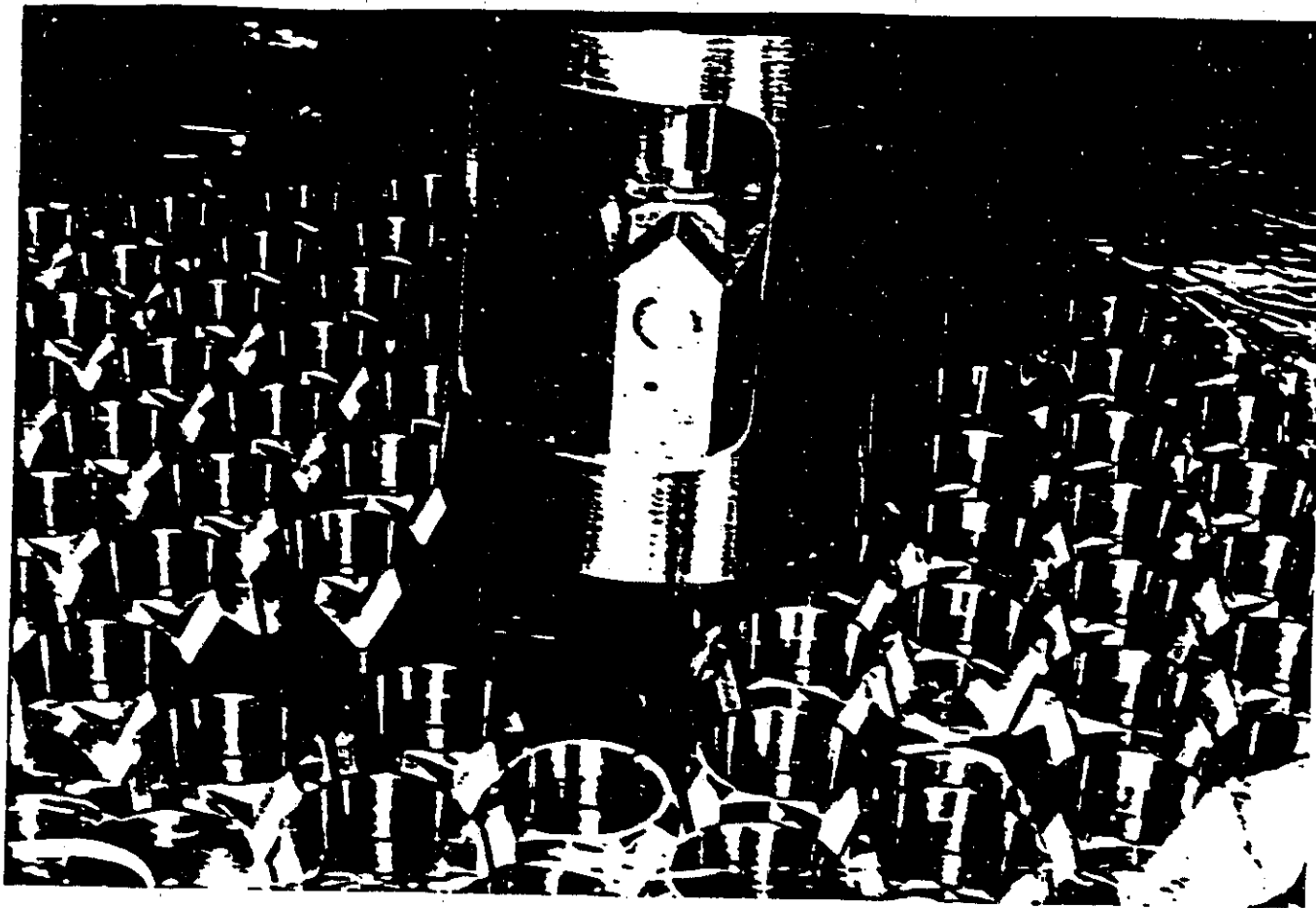
4 (スライド L-2 R-2)

これは、炉心構成を示す平面図で、最近の状態を示しています。中央の赤色の部分がPuの入った本当の炉心部で、等価直径約70cm、その中に6本の制御棒があります。

周囲はステンレス鋼製の中性子反射体であります。

運転中の中性子レベルは、中央部で盛り上がっていて最大中性子束は $5 \times 10^{15} \text{ n} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ となります。発熱もそれに対応しますので、燃料出口の冷却材Naの温度も中心が高く530～550℃位、周辺で400数十℃となります。

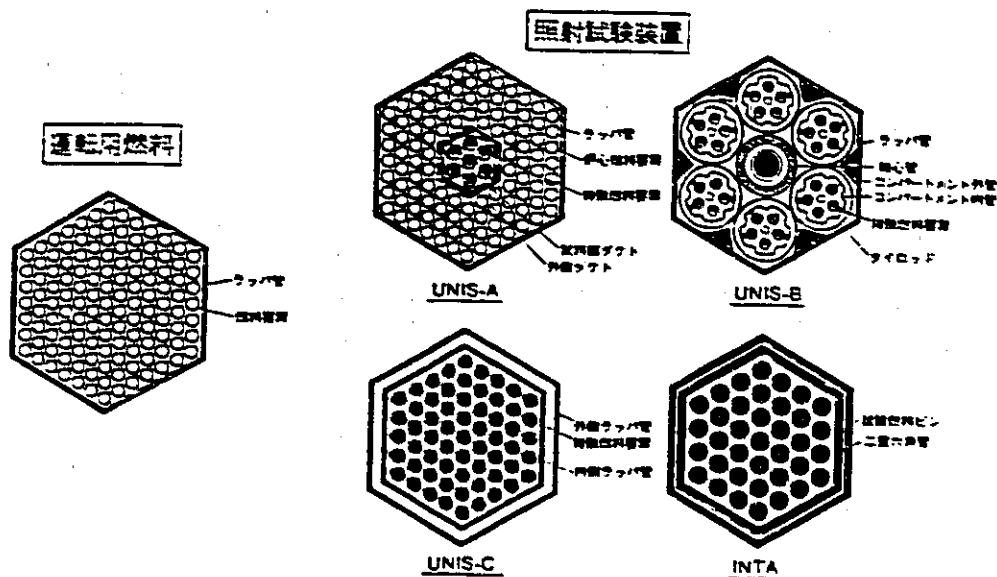
現在、燃料の照射装置が炉心部に4本、材料の照射装置が反射体領域に5本入っております。



5 (スライド L-3 R-2)

実感を持って頂くために、古い写真ですが、炉心の頂部を見たところです。勿論、Naをチャージする前の、何か試験をしている時の写真ですが、燃料集合体の炉心での納まり具合の感じがお分かり頂けるかと思えます。

運転用燃料と照射試験装置



⑥ (スライド L-4 R-2)

炉心を構成する燃料集合体1本ずつの構造を、これも水平断面図で示したのがこの図です。

運転用燃料というのは、ふつうの炉心燃料で、右の図(4)の赤い領域にはいますがドライバ燃料ともいいます。勿論、現在のMK-II炉心用で、ひとつの集合体の中に外径5.5mmの燃料要素、燃料ピンともいいますが、これが127本入っています。

ペレットはPu富化度約30%の混合酸化物、被覆管はSUS316相当のステンレス鋼です。

最大線出力は長さ1cm当り400Wで、集合体全体の発熱量は約2,000kWとなります。

図の右側の4つは照射装置で、特殊燃料集合体のA型、B型、C型と計測線付燃料のINTAを示しています。

色の濃い赤い燃料棒が照射試験サンプルとなるもので、試験目的に応じて使い分けをします。

A型は、外側にドライバ燃料が入っているので核的な反応度係数が高いので、炉心管理上は有利となります。

B型は、その反対に燃料の量が少ないので、反応度係数の低いのが弱点ですが、この丸いコンパートメント毎に流量や温度などの照射条件を変えられる利点があります。また、照射の途中で一旦外に取り出して検査し、再組立をすることのできる点が特徴で、あとで申しあげる日米交換照射の目玉となるものです。

C型は、照射試験サンプルの燃料棒のバンドルとしての照射挙動を把握でき、また統計的データを得られる特徴があります。

INTAは、各燃料ピンに計装線がついていて、燃料ペレットの中心温度など運転下で、つまりオンラインでデータのとれる所が特徴です。あとで、この燃料中心温度のデータを御紹介します。

「常陽」炉心燃料の設計

- 熱的制限

燃料最高温度 2,650°C

被覆管最高温度

定格時 650°C 過渡時 880°C

- 機械的強度制限

1次膜応力 < 15.0kg / mm²

クリープ損傷和+疲労損傷 < 1.0

- 歪量制限 (被覆管外径増加の目標値)

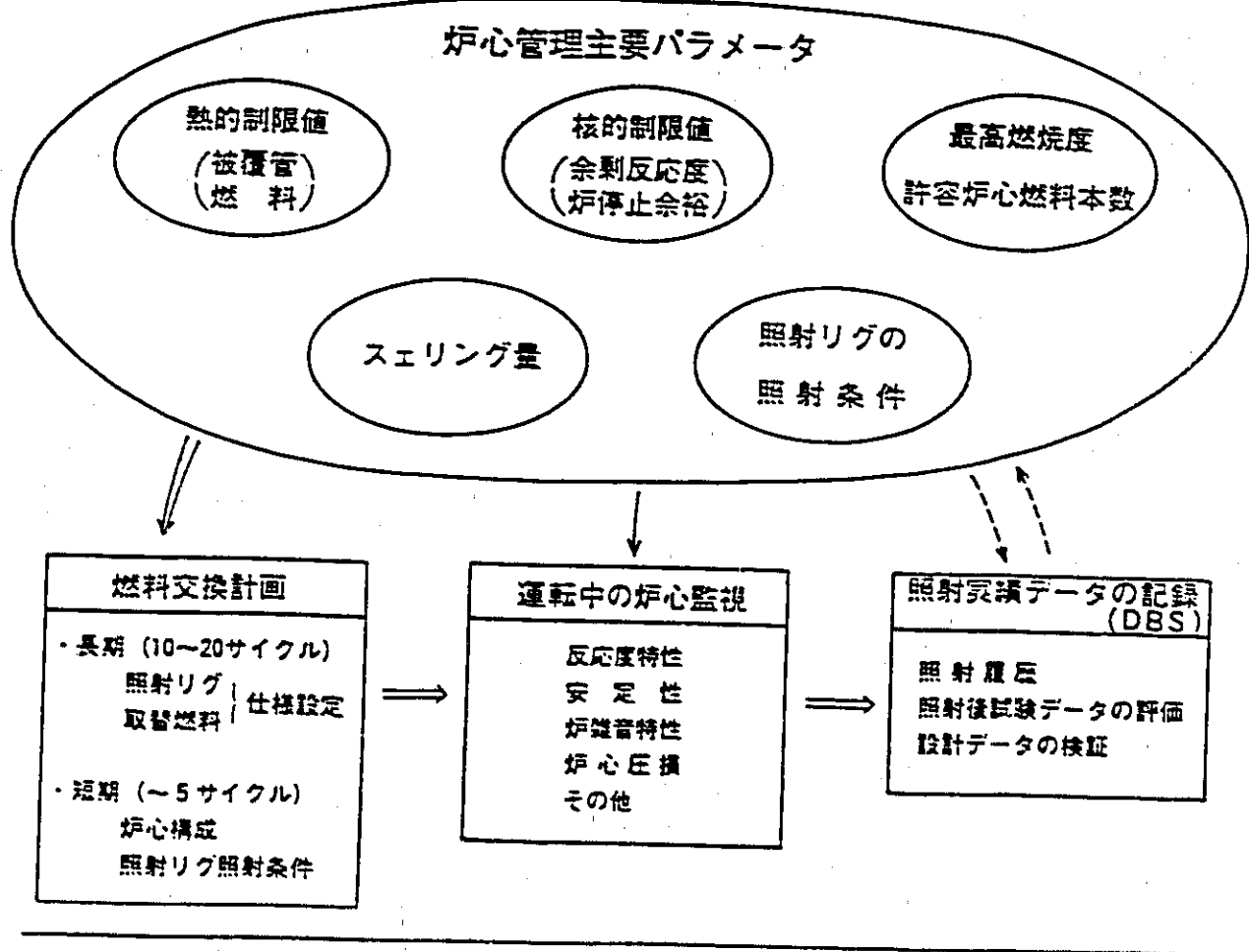
スエリング+照射クリープ < 7% ($\Delta D / D$)

7 (スライド L-5, R-2)

炉心燃料は、先ほどの運転用燃料ですが、その主要な設計条件は、この表に示しますように、熱的制限として燃料最高温度 2,650°C、被覆管最高温度定格時で 650°C と定めています。

また、機械的強度上の制限、歪量の制限もあり、現在は燃焼度は 50,000 MWd/t に抑えております。この燃焼度は、あとでも触れますが、これまでの実績と研究の成果により 5割増しにすることを検討しています。

「常陽」における炉心管理



⑧ (スライド L-6 R-2)

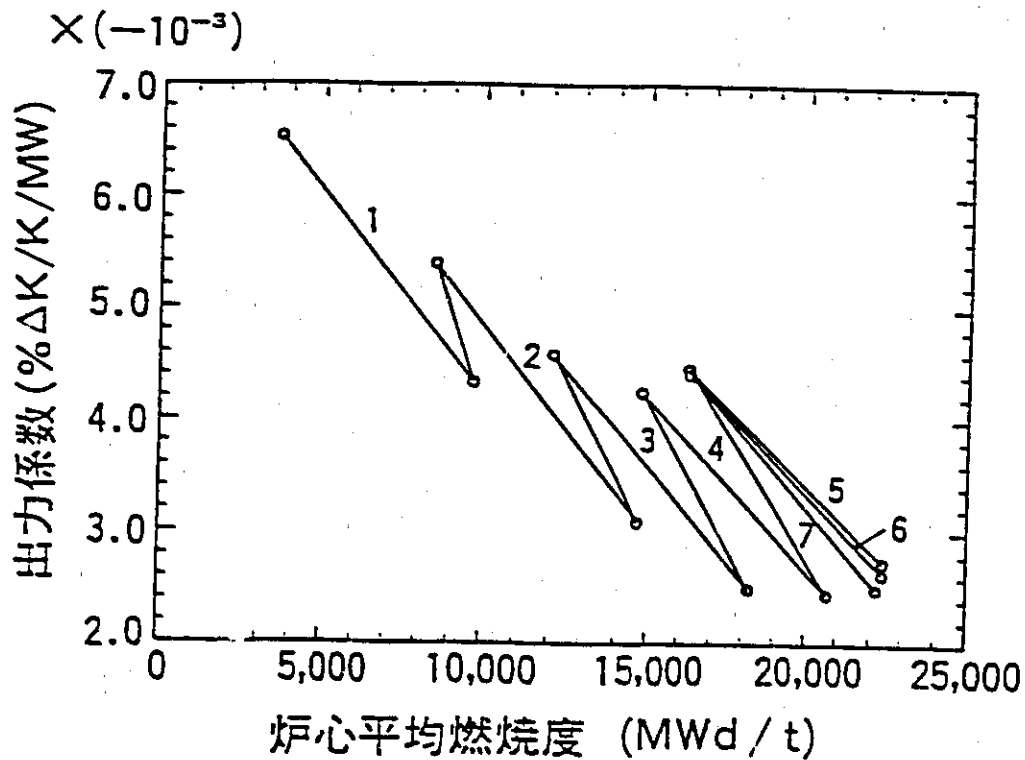
「JOYO」の炉心は、只今ご説明したような炉心燃料と制御棒のほかに、照射装置あるいは照射リグともいいますが、それをもっているところが、ふつうの炉心と異なるところです。

このような炉心をいかにうまくマネジして、燃料を上手に燃やしていくか、そして照射試験サンプルを所定の条件下で早く照射するか、それが「JOYO」における炉心管理の特徴であります。炉心のハードウェアが燃料などの炉心構成要素としますと、炉心管理はそのソフトウェアと言うことができます。

「JOYO」の炉心管理は各種の制限値の条件のもとで、数年間オーダの長期の燃料交換計画を立てて、炉心の取替燃料の調達仕様を設定し、また照射リグの装荷仕様を決定すること、また1年間程度の短期の燃料交換計画を立てると炉心構成を決定していくことが第1の仕事であります。

さらに運転中の炉心の各種特性を監視し、その変化をフォローすることも重要な仕事であります。また、これらの作業をベースとし照射サンプルや炉心燃料の照射履歴を精度よく計算して、照射後試験の基礎データを提供することも、炉心管理の一部であります。この照射履歴などのデータは、あとで出て来ますDBS、データバンキング・システムに登録されるようになっています。

出力係数の燃焼度依存性



(9) (スライド L-6, R-3)

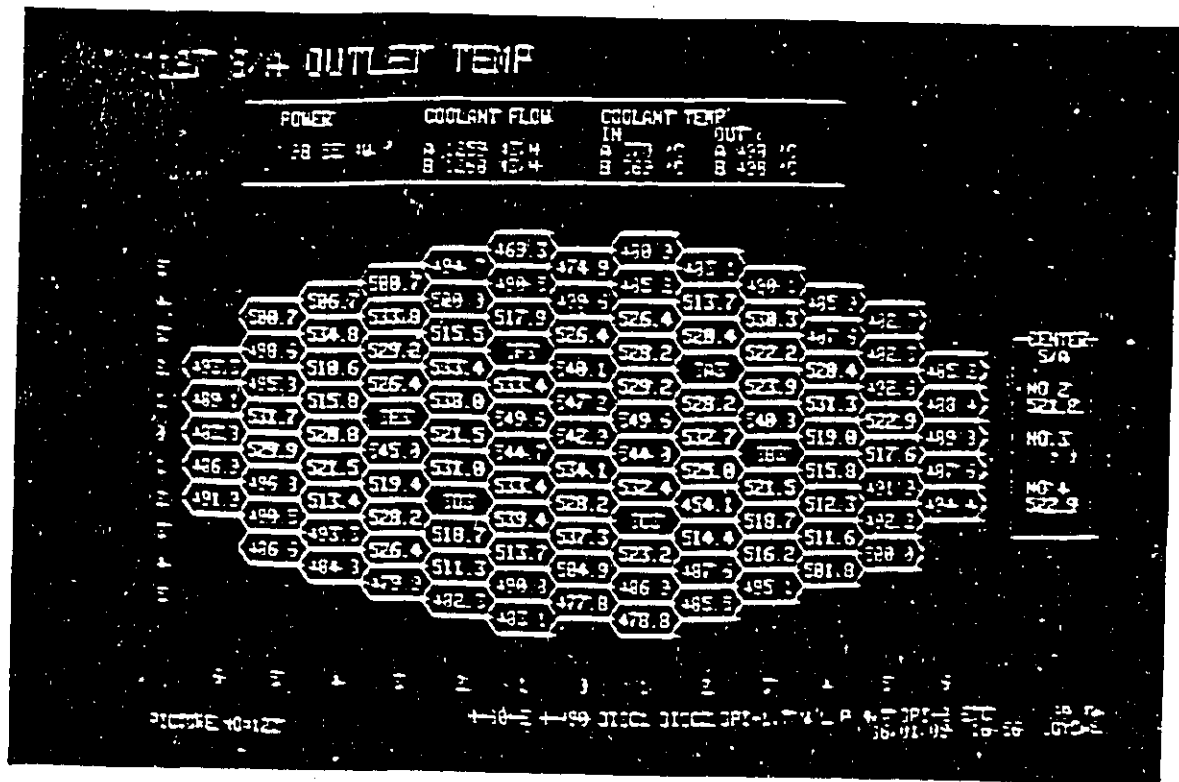
運転中の炉心監視の実例を2～3御紹介させて頂きたいと思ひます。

まず、炉心の反応度特性のひとつである出力係数の監視結果を示したのがこのグラフです。

「JOYO」の出力係数は負ですから、炉心の出力が1 MW上がったら、炉心の反応度はどの位下がるかを表すのが出力係数ですが、その下り方の絶対値が運転サイクル、このグラフ中の番号がそのサイクル・ナンバーを示していますが、それが増えるにしたがって小さくなっています。

そして、第5サイクル以降は余り変化しない。横軸を、このように炉心全体の平均燃焼度によってグラフを書きますと、このように20,000 MWd/tあたりでいわゆる平衡炉心となり、出力係数も安定することが分かります。

このことは、出力係数の原因といひますか要因が、燃料の燃焼度に依存するものであることを示しております。



⑩ (スライド L-6/R-4)

このスライドは、炉心燃料出口の冷却材 Na の運転中の温度を示したものです。

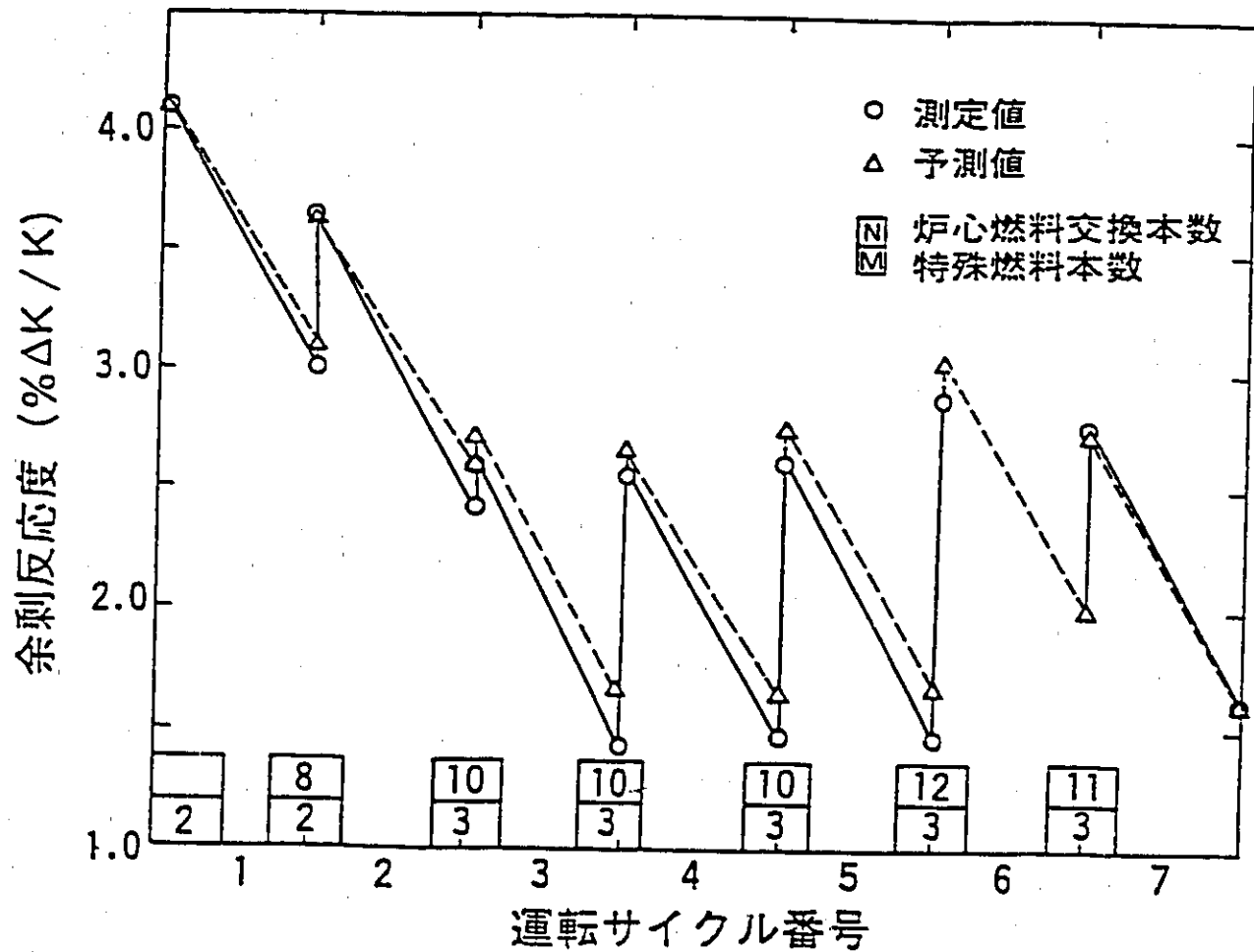
大分見難くて申し訳ありませんが、これは「JOYO」の中央制御室にある JOYDAS、JOYO データ集め装置とわたくしは見学の方に説明して担当の専門家から笑われているのですが、一種の運転支援システムの卵。いや担当から言わせればもうヒナだと叱られるかも知れませんが、そういった JOYDAS の CRT の画面を直接カメラで写した写真です。

中心の赤色の数字は 540 °C 台、そのまわりが 530 °C、その外側が 520 °C 台と、外に行くにしたがって順次燃料からでてくる Na の温度は下がっていています。

この温度監視は、われわれが通常知り得る炉心に最も近い場所の信号であって、これにより各燃料の出力分布や流量分布の状態を直接に知ることができます。

勿論、照射サンプルの入った特殊燃料の冷却材温度も、これでチェックされています。

燃料交換に伴う余剰反応度の変化



① (スライド L-6/R-5)

このグラフは、燃料交換に伴う余剰反応度の変化を示したものです。

破線が予測計算値、実線が実測値を示しています。先ほどご説明したような燃料組成のかなり異なった特殊燃料を入れているにもかかわらず、極めて良い精度で予測計算ができていることを示しています。

この精度の上に立って、次にご説明する長期予測が可能となっています。

長期燃料交換計画と余剰反応度

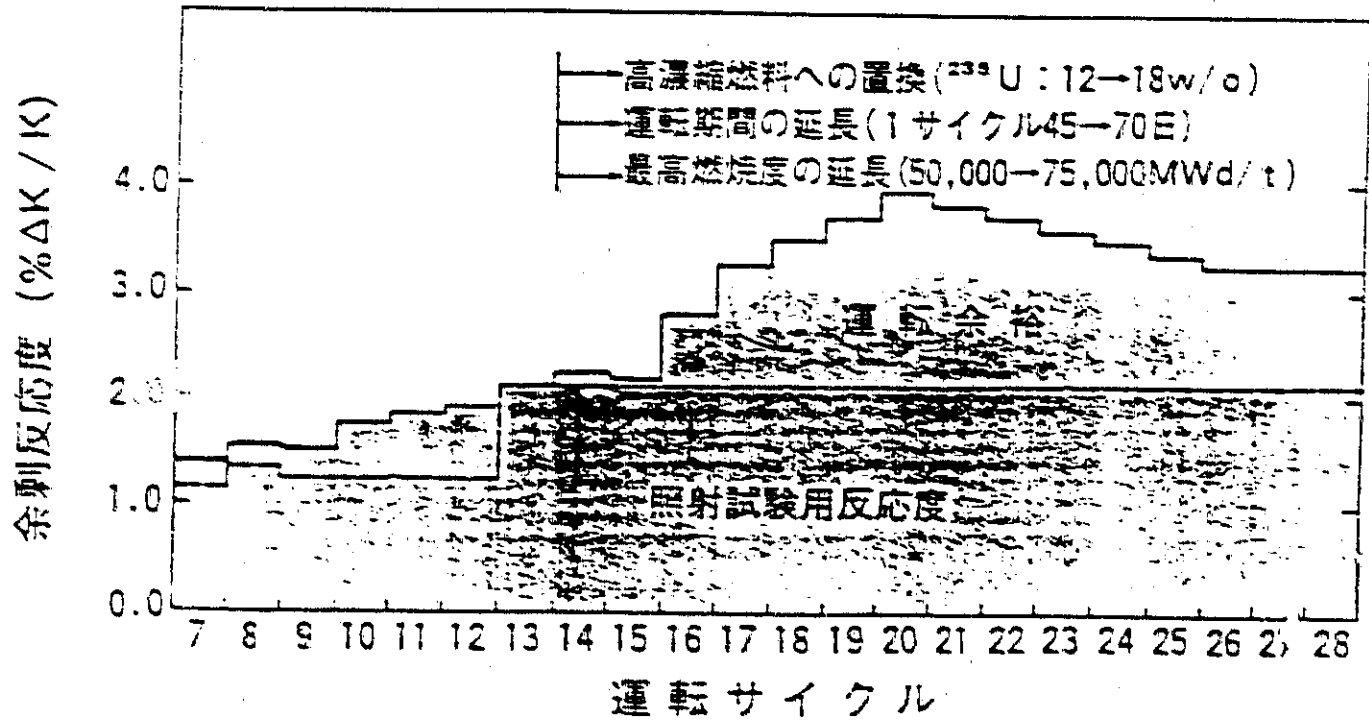


図1 長期燃料交換計画と余剰反応度

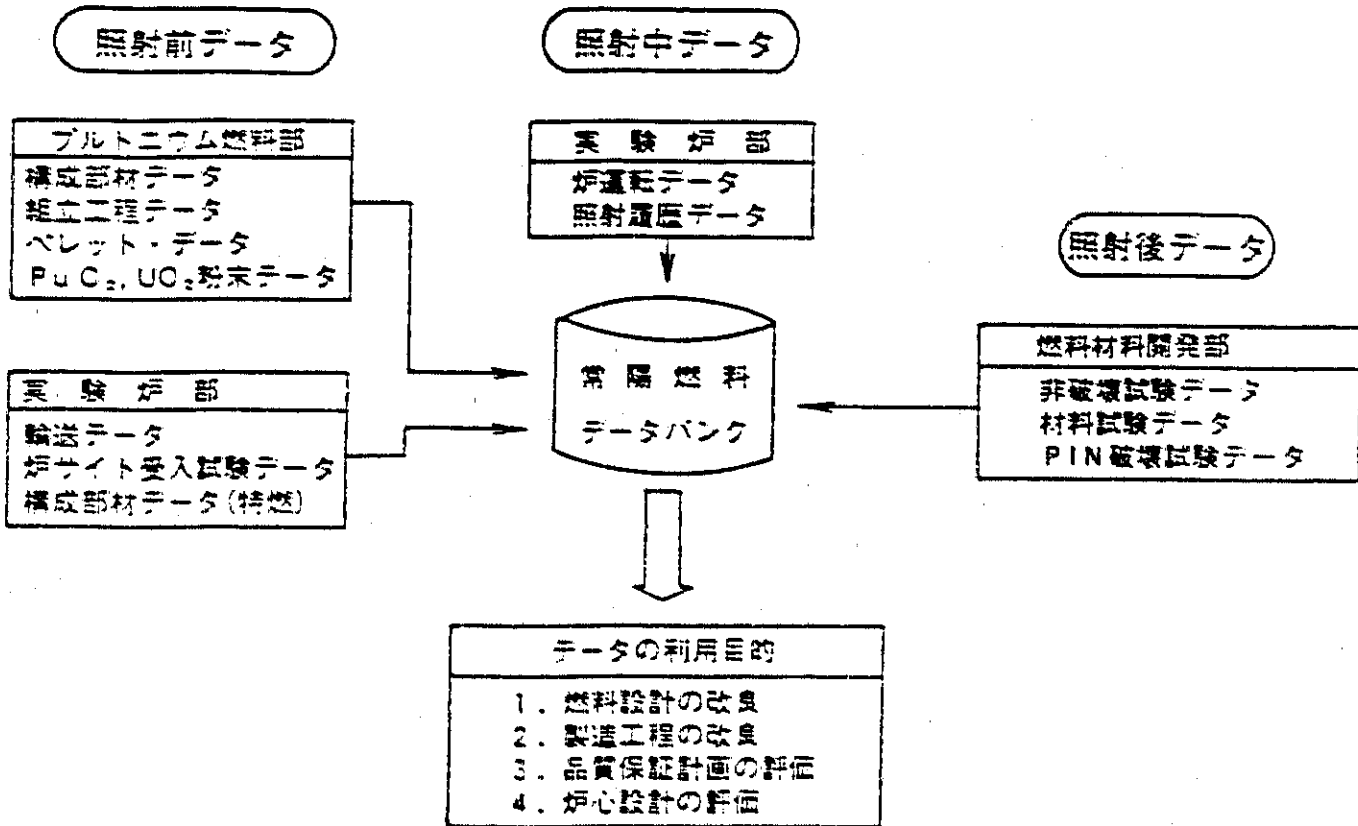
この結果から、中心の余剰反応度(初期の欠乏化を考慮せず)は、5%以下(平均は約3%)程度に十分あり、約1年間を1サイクルとする運転計画は十分である。

この結果、燃料交換計画は、燃料交換の回数と燃料の余剰反応度の余裕を出さなくてもよい。

この結果を基に、照射試験の計画を修正し、燃料交換の回数と燃料の余剰反応度の余裕を出さなくてもよい。

この結果、燃料交換の回数と燃料の余剰反応度の余裕を出さなくてもよい。

「常陽」燃料DBS (Data Banking System) のデータの流れ



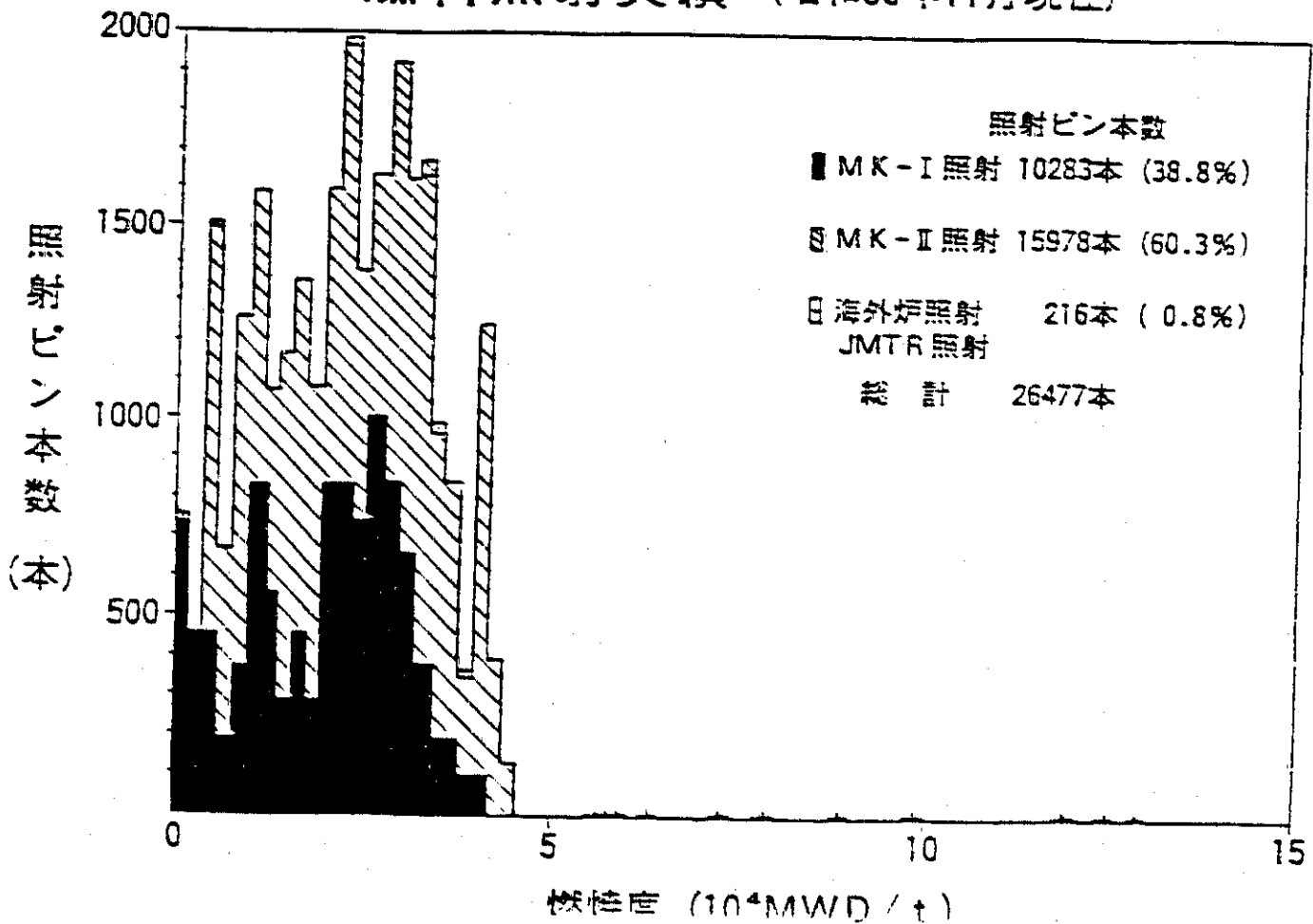
1. 燃料データバンクの概要

本資料に示される炉心管理の重要なパラメータのひとつは照射サンプルや炉心燃料の照射履歴データ・照射炉データを提供しております。

照射炉データは、炉心炉心特性の正確な把握により、十分な精度で計算され、照射後試験の結果が炉心と密接に一致することとなります。

また、炉心データは、他の照射前の製造データや照射後試験データと合わせて、JYOJYデータ・炉心データ・炉心データに取組み、燃料に関するデータ・データを基として炉心設計改良などに利用されております。

燃料照射実績 (昭和60年11月現在)



4. 「スライド」型燃料

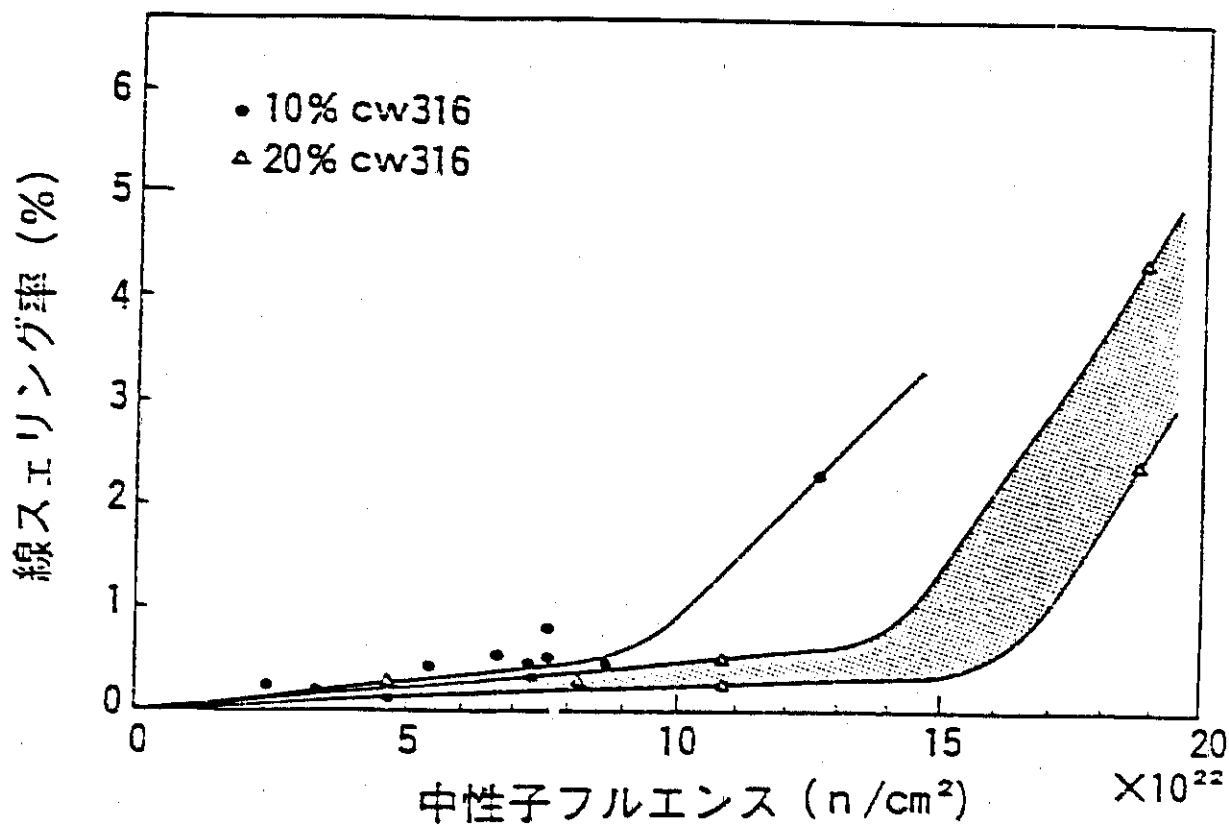
さて、話を炉心管理から燃料に戻しましょう。これまでに照射されたFBR用燃料ピンの総数は、現在照射中のものも含め、また海外如き日本原子力研究所のJMTR炉の照射約200本も含めて、約26,000本となります。

横軸の燃焼度で50,000 MWD/t以上、最高約13万 MWD/tの照射は主にフランスのRapsodieやPhenix、イギリスのトーンブリなど海外炉によるものであります。

燃焼度はまだ低いながらも量的には99%を占めるJOYO炉のMK-I及びMK-IIで照射したもの、あるいは照射中のものでもあります。燃料はこれまで健全に使用されており、その設計・製造技術の妥当性が確認されています。

「JOYO」燃料のふるまいを分析評価し、改良された例を上げると、MK-I燃料ピンに見られたウエーブマークは、MK-IIでは燃料ハンドリングをタイプにすることにより解決されています。また、燃料被覆管のスペリングは、日本語の長い誤りはありませんが、辞書で引けば「勝間」となりますが、これもMK-IからMK-IIで減っています。

燃料被覆管のステリング率



15 (サイト L7R8)

そのステリング率の改善の様子を示すのが、このグラフであります。

MK-I用燃料では10%コールドワークのSUS316ステンレス鋼の被覆管を用いていましたが、MK-IIでは20%コールドワークとしました。

例えば横軸の中性子照射量フルエンスで15、 10^{22} で比べると約1/3になっています。

高速炉燃料設計のための 照射挙動データ集(主要項目)

(物理的性質に関する項目)

- 燃料の融点
- 燃料の熱伝導度
- F P ガス放出率
- ギャップ熱伝達率
- 内面腐食
- 被覆管引張り強さ

(形状変化に関する項目)

- ピン全長変化
- ピン外径変化
- 被覆管スエリング
- ワイヤスエリング
- ラッパ管スエリング
- ラッパ管引抜力

16 (スライド 1, 7, R, 9)

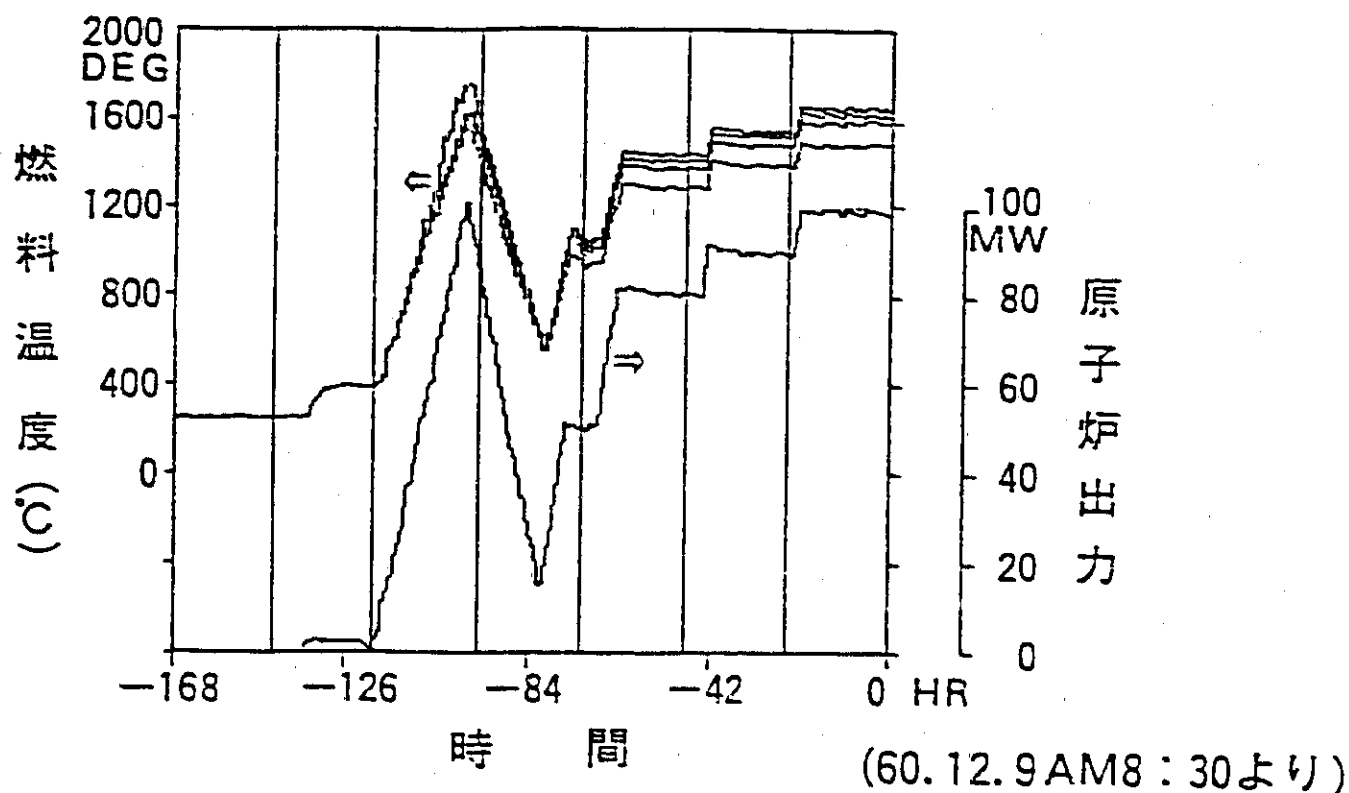
今、申し上げました被覆管のスエリングを含め、燃料のいろいろな照射挙動のデータが分析評価され、設計データ集として整理されています。

先ほど、申し上げました総数 26,000 本の照射実績のうち約 4,000 本が外観検査だけのものも含めて照射後試験を行われています。数は少ないが、高燃焼度のサンプルと、燃焼度は低いが大量の裾野の広いサンプルを、総合的に分析評価して、これらのデータ集ができています。

たとえば、Pu20%以上の混合酸化物燃料の融点ですが、燃焼度 50,000 MWd/t までは 2,720℃と従来外国データから言われていた 2,650 より高いことが確認されています。

燃料の熱伝導度、核分裂生成ガスの放出率、内面腐食、さらに被覆管の引張り強さなど体系的にデータが集積されています。ここには書いてありませんが、核分裂生成物の化学形態の評価や軸非均質炉心燃料の Cs 移動モデルなども検討されています。

INTAによる燃料温度測定



18 (スライド L-8・R-10)

これまで御説明したことは、ほとんどすべて照射後試験の結果を分析評価した成果でしたが、最近、最初にも一寸触れました計測線付燃料、Instrumented Test Assemblyを略してINTAと言っていますが、それが「JOYO」のか心の中に入れられました。

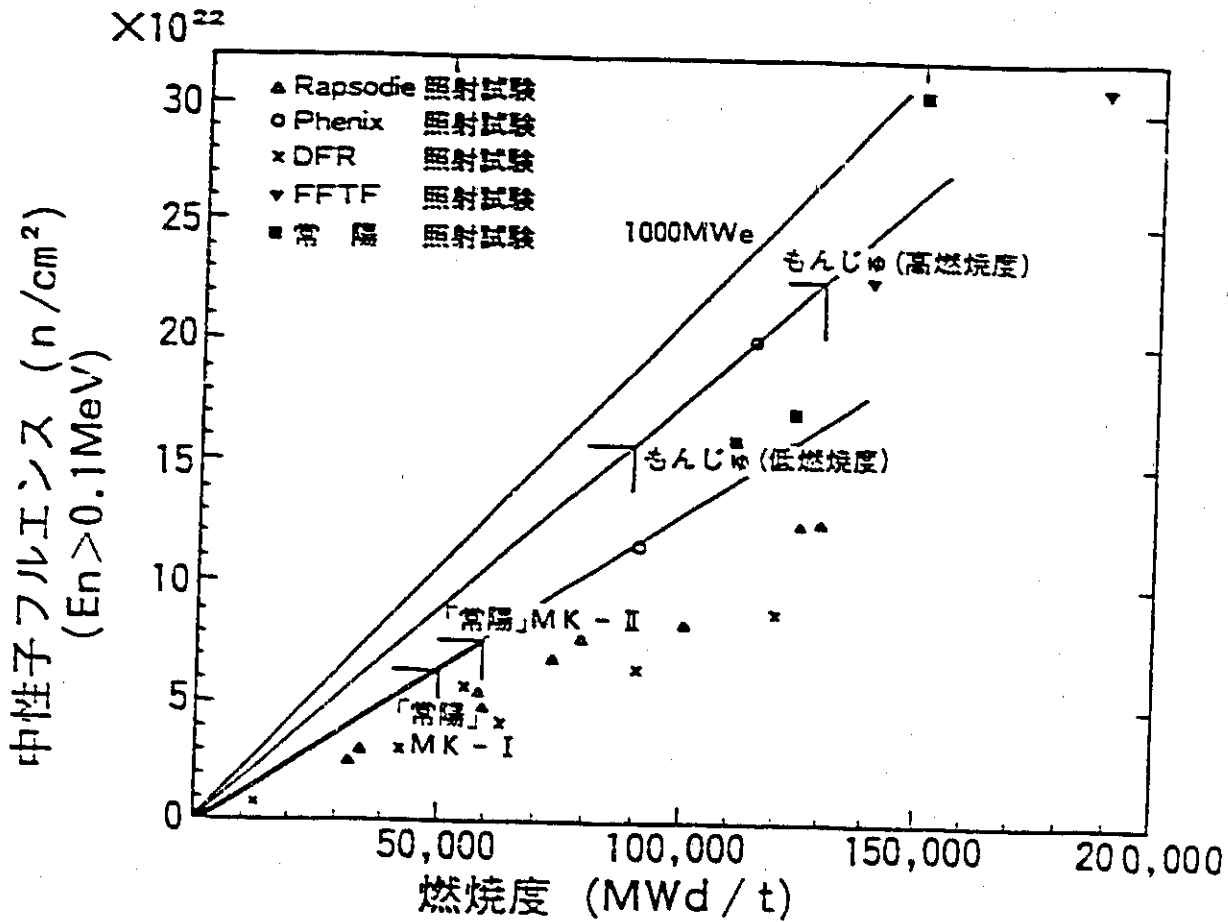
このグラフは、少しトヒクスのですが、そのINTAの最初の照射時のデータで、原子炉出力をいろいろ考えて決めたパターンで変化させたときの燃料ペレットの中心温度の変化の記録を示しています。

このグラフも、実際には先ほどお話したJOYDASというデータ集め装置のハードコピーをトレースしたもので、1週間のトレンドの記録です。

これらINTAのデータは、たとえばペレットの焼きしまりや再結晶など微細な燃料挙動の変化を知る上で、重要な役割を果たすものであります。

なお、この試験に先立ち、先ほどのCEDARコードで予測計算をしたわけですが実に良い精度で一致しており、CEDARコードの裏づけがひとつ増したことになります。

照射量と燃焼度の関係



19 (スライド I-9 R-消す)

FBR 燃料開発については、お手許の黄緑色の「FBR 研究開発の現状」の第3章にも書いてございますように、今日お話したこと以外にも必要な研究開発を行っていますが、時間の関係もあり省略させていただきます。

さて、これまでのわが国における「MONJU」の設計経験及び大型炉の設計研究をもとに、将来のFBR実証化段階に向けての燃料開発の課題は、

- 1 線出力と燃焼度などの性能の向上、と
- 2 集合体の短尺化、圧力損失低減などの設計合理化

に集約できると考えます。

そのための基本的な要素技術として重要なもののひとつが、燃料の長寿命化を目指した炉心材料とくに燃料被覆管材料の開発であります。

このグラフは、燃焼度と中性子照射量の間を、実験炉、原形炉、大型炉について概略を示したものです。原形炉までは、これまでの試験ですでにカバーされていますが、大型炉用にはまだ不十分であり、現在計画中であります。

長寿命燃料日米共同研究

共同研究の意義

- ・日・米で研究を分担することによる開発成果の相互補完
- ・照射炉としての「常陽」・FFTFの相互利用

共同研究の内容

炉心材料開発試験

改良オーステナイト鋼・高強度フェライト鋼の開発及び
FFTF (MOTA) による材料照射試験

燃料照射試験

FFTF：燃料集合体としての性能評価

- ・炉心燃料集合体
- ・ブランケット燃料集合体

「常陽」：燃料ピンとしての性能評価

- ・B型特殊燃料集合体による照射
- ・照射途中の中間データ取得

20 (スライド L-9 R-11)

その長寿命燃料の開発を効率的に行うため、現在日米間で共同研究が計画されています。

日米双方で開発中の、改良オーステナイト鋼あるいは高強度フェライト鋼の被覆管でつくった燃料を、「JOYO」では、先ほど申しあげました照射の途中で取り出して中間データを取り、再組立して継続照射のできるコンパートメント式のB型照射装置で、米国のFFTFでは、集合体規模の照射をして、相互補完をしようという計画であります。

この結果を用いて、将来の長寿命燃料の性能と挙動を「MONJU」燃料との対比において評価することになります。

「常陽」・PHENIX 交換照射試験計画

交換照射の意義

仏 国 : 実験炉 RAPSODIE の廃炉にともない, その代役として「常陽」の利用

日 本 : 発電規模の F B R での燃料集合体の実証試験に PHENIX の利用

第 1 段階の交換照射の内容

常陽照射 :

フランス製改良オーステナイト系ステンレス鋼被覆管による燃料照射

PNC 東海で燃料ピンを製造。「常陽」C型特殊燃料集合体的 4 年照射

PHENIX 照射 :

もんじゅ仕様被覆管, ラッパ管材等で製作した燃料集合体照射
仏国燃料工場で PHENIX 用運転燃料集合体として, 製造し, PHENIX 炉で約 4 年照射 (シャフリング含む)

21 (スライド L-10 R-11)

一方, フランスとも, 「JOYO」・「Phenix」の交換照射の計画が進んでいます。

「JOYO」では, フランス製の改良オーステナイト鋼被覆管を用いた燃料を照射し, 「Phenix」では日本製の「MONJU」仕様被覆管の燃料を照射するという計画であります。

☞ (スライド 終わり 一点灯)

さて「JOYO」の燃料開発のお話を終わらせるには、やはり申し添えさせて頂かねばならないことが一つあります。それは、高速増殖炉が増殖炉として実用化されるために不可欠の、高速増殖炉燃料サイクルに関係することです。

1年半ほど前の昭和59年9月、当時新聞やTVにも出ましたので御記憶の方も居られるかと思いますが、「JOYO」の使用済燃料を動燃事業団東海事業所の試験施設で、再処理して得られたPuが、再び燃料として「JOYO」にもどって来ました。現在も、このリサイクルされた燃料は「JOYO」の炉心の中で燃えています。試験的ではありますが、わが国のFBR燃料サイクルの輪が閉じた意義は大きいと思います。

高速実験炉「JOYO」は、わが国の高速増殖炉開発というナショナルプロジェクトの第1ステップとして、皆様の税金と関係各界の協力によって出来たものであります。それを預らせて頂いているわたくし共としては、第2ステップである原形炉「MONJU」、さらにはその次のステップである実証炉を経て進むわが国における高速増殖炉実用化のために、この「JOYO」を120を活用することが責務であると信じています。これからの社会においては、さらに、世界の高速増殖炉開発にも寄与していかねばならないと思います。

今後も、これまで以上の皆様の御指導、御支援を下さいますようお願いして、わたくしの御報告を終わらせて頂きます。

どうも有難うございました。