U.D.C. 621.182.2

超臨界圧ボイラ動特性の解析

Analytical Solution of Supercritical Boiler Dynamics

中野善之*河竹好一* Yoshiyuki Nakano Kôichi Kawatake

内 容 梗 概

ボイラを予熱,移相および過熱の部分に分け,各部分について流体諸状態の微小な変化の範囲を取り扱い系 を線形化し,超臨界圧における強制貫流ボイラの動特性を解析した。さらに結果を先頃当研究所に設置された テストボイラの超臨界圧の場合に適応しアナログ計算機によって動特性の検討を行ない,いくつかの超臨界圧 ボイラ制御上の問題点を指摘した。

1. 緒 言

最近の火力発電所の計画にあたっては、プラントの経済性を高め るために、プラントの単位容量を非常に大形化し、また使用蒸気条 件をますます高温高圧の領域にまで伸ばし蒸気を高効率で利用しよ うとする傾向が強くなってきている。

このため最近では超臨界圧力の蒸気が使用されるようになった が、この場合のボイラとしては当然強制貫流ボイラにならざるをえ ない。従来、強制貫流ボイラは給水処理と制御の点に問題があった



-4

が、現在では給水処理に関してはイオン交換樹脂を用いた純水装置 の発達によって問題はほとんど解決されてきている。一方制御に関 しては、どうであるかというに、強制貫流ボイラは従来のボイラで 大きな部分を占めていたドラムを持たず、水管のみから構成され、 流動が給水ポンプの吐出量によってのみ決まるので、負荷変動に対 する応答性とか起動時間の短縮には多くの利点を持っているが、こ れらの長所が他面ではボイラの制御上速い応答性を必要とするな ど、考慮すべき問題も多い。

強制貫流ボイラを安定に、しかも長所を利して応答を速く運転す るためには、まずボイラそのものの制御性、つまり動特性について理 論的実験的に解析を行ない、ボイラ運転時に起こるいろいろの現象 を定量的にはっきりつかまなければならない。これらに関する研究 は、国内では亜臨界圧における動特性について寺野氏⁽¹⁾、石谷氏⁽²⁾ らによって理論的に究明されつつあり、実験的にも各方面で研究が 進められている。日立製作所においても理論的な研究とともに実験 用として最高蒸気圧力 350 kg/cm²、最高蒸気温度 650°C、出力 2 t/h のボイラを主体とするテストプラントを建設し、すでに実験を開始 している⁽³⁾。

亜臨界圧力における研究はこのように各方面でかなり活発である が,強制貫流ボイラの特徴の最も発揮される超臨界圧における研究 は,水の物理的な性質が亜臨界圧におけると相当に異なることから くるむずかしさのため,研究成果もあまりなく,超臨界圧火力発電 プラントの推進力となっていない現状である。これが早急な実用化 のためにはもっと強力な研究推進が望まれる。

本報では、この主旨に沿って超臨界圧強制貫流ボイラの動特性に 関する研究成果の第1報として、動特性の理論解析の結果について 報告する。

第1図 ボイラの基本形式

はないが,強制貫流ボイラでは,構造上その現象は分布定数系とし て取り扱わなければならない。しかしながら,実際の強制貫流ボイ ラにおいては,圧力応答は温度応答に比較して相当に速く,特に超 臨界圧になり流体の圧縮性が小さくなればさらに顕著であり,この 二つの応答を適当に分離して考えることができる。また,流体圧力 の変動を流体諸定数の変化の無視できる範囲で考えることにすれ ば,分布定数系としては温度のみを考慮すればよい。

ここで,強制貫流ボイラにおいては次の仮定が成立するものとする。

(1) ある区間内における管壁から流体への伝熱量は管の長さ方 向に一様である。

(2) 管壁では温度は半径方向に一様で、長さ方向への熱移動はない。

(3) 流体は管径方向に一様の状態にある。

(4) 管路の短かい区分では,

7 -----

PV=aI+b.....(1)の関係が成立する。

これら条件の下では,次の強制貫流ボイラの基本式が得られる(1)。

ガスから管壁への伝熱: $R_2 - R_1 = C \frac{\partial \Theta'}{\partial t}$(2)

- 管壁から流体への伝熱: $R_1 = H(\Theta' \Theta)$ (3)
- 流体の保有エネルギー: $R_1 = Q \frac{\partial I}{\partial L} + \frac{F}{V} \frac{\partial I}{\partial t} \dots (4)$
- 流体の連続性: $\frac{\partial Q}{\partial L} = \frac{F}{V^2} \frac{\partial V}{\partial t}$ (5)
- 臣 力 降 下: $\frac{\partial P}{\partial L} = -KQ^2V$ (6)

2. 動特性方程式の解析

2.1 仮定および基本式

ドラムボイラにおいては,移相部に大きな容量を占めるドラムが あり汽水分離の作用をし,蒸発部を他の部分から画然と区別してい るので,各部分の現象は集中定数系として取り扱っても大きな誤り * 日立製作所日立研究所 記号は第1表にまとめて説明してある。
 2.2 動特性方程式
 超臨界圧ボイラの動特性方程式は基本式(2)~(5)を解き求めれ
 ばよいわけであるが、これを正確に解くことは一般には不可能である。したがってここでは、ボイラを予熱、移相および過熱の各部分
 に分けて考え、それぞれの部分についてある定常状態からの変数の

1310 昭和 37 年 9 月

日立

評 論

第44卷第9号

	第1表本文で使われる記号	3
A	管内面伝熱面積	m^2
A'	管外面伝熱面積	m^2
A_f	炉壁伝熱面積	m ²
C	単位長当り管熱容量	kcal/°C m
C'	管壁比体積	kcal/°C m
C_f	炉壁比体積	
d_i	管 内 径	m
F	流路断面積	m^2
F_1	ボイラ出ロ弁開度面積	m^2
fı	ボイラ出口弁開度面積の変化割合	
G	管内保有流体量	kg
g	管内保有流体量の変化割合	
g	重力加速度	m/s^2
H	単位長当り熱伝達率	kcal/°C s m
h	単位長当り熱伝達率の変化割合	
Ι	流体エンタルピ	kcal/kg
ΔI	流体エンタルピの変化分	kcal/kg
i	流体エンタルピの変化割合	
L	管長	m
L_p	予熱部管長	m
L_s	過熱部管長	m
Lt	移相部管長	m
P	流体圧力	kg/cm ²
þ	流体圧力の変化割合	
P_{rm}	プラントル数	
Q	流体流量	kg/s
q	流体流量の変化割合	
R_1	管壁から流体への単位長当り伝熱量	kcal/s m
r1	管壁から流体への単位長当り伝熱量の変化割合	
R_2	ガスから管壁への単位長当り伝熱量	kcal/s m
r2 D	ガスから管壁への単位長当り伝熱量の変化割合	
K0	燃 焼 量	kcal/s
<i>Y</i> 0	燃料量の変化割合	
S	フフラス演算子	1/s
V ATZ	流体比体積	m ³ /kg
27	流体比体積の変化分	m ³ /kg
v	流体比体積の変化割合	1-427 Victoria Secto (27.575
a	流体熟伝達 举	kcal/m ² s °C
α_f	カムから炉壁への熱伝達率	kcal/m ² s °C
α	カイから官壁への熱伝達率	kcal/m ² s °C
40	流体温度	°C
26	流体温度の変化分	°C
0 Q'	加4個度の変化割合	
101	百 笙 価 皮	°C
20 x	官性価度の変化分	°C
n'	室は烈効学	
2	冒壁価度の変化割合 海体の変換現底にあたる 熱に 資本	1 1/ 1 20
A 11	加体の十均価度における恐広導挙	kcal/m h °C
0	流 休 声 唐	m²/s
W	加体速度	m/s
	你 子	
1		
0	田口, 定常状態	
P	于 烈 部	×
t	移 相 尚 词 劫 却	
S	· 遡 熟 部	
例	えば	
Θ	一般表示	
Θ_p	予熱部任意位置,任意時間の流体温度	
Θ_{p0}	予熱部任意位置の定常時の流体温度	
Θ_{p00}	予熱部出口の定常時の流体温度	

ここに,

ば

$$r_{1} = q_{p} + \frac{Q_{p_{0}}}{k_{1}R_{p_{0}}} \frac{d(\varDelta \Theta_{p})}{dL} + \frac{F}{k_{1}V_{p_{0}}R_{p_{0}}} \frac{d(\varDelta \Theta_{p})}{dt} \dots (13)$$

(6)式は,

ここに,

K'=KV_p: 定数(16)
(7), (11)および(13)の3式から動特性方程式を求め, さらに
ラプラス変換すれば伝達関数の形で表わせる。この際, 記号の種

類が多くなり繁雑化するのを防ぐため,各変数はラプラス変換さ れた後も同じ記号で表わし,特に新しい記号を用いないことにす る。

したがって予熱部出口における流体温度の変化割合は次式で与

徴小変化を考え基本式を線形常微分化し,動特性方程式を求める。

2.2.1 予 熱 部

(2)式をある定常状態からの微小変化について線形常微分化すれば,

ここに,

 $\Delta \Theta_{p'} = \Theta_{p_0}' \theta_{p'}$(8) (3)式は, えられる。

$$\theta_{p0} = \frac{R_{p0}}{\Theta_{p00}H_{p0}} \frac{1}{(T_1 + T_2 + T_1T_2s)s}$$

$$\times \{1 - e^{-c_2}\frac{H_{p0}}{R_{p0}} \frac{(T_1 + T_2 + T_1T_2s)s}{1 + T_2s}\} (r_2 - q_{pi})$$

$$+ \frac{\Theta_{pi0}}{\Theta_{p00}}e^{-c_2}\frac{H_{p0}}{R_{p0}} \frac{(T_1 + T_2 + T_1T_2s)s}{1 + T_2s}q_{pi} \dots (17)$$

ここに,

T₁は単位長当り流体熱容量,熱伝達率比,T₂は管壁時定数である。

予熱部では、流体は非圧縮性であるから、入口流量の変化は直ちに出口に表われる。したがって、予熱部の動特性を表わすブロック線図は(17)式を用いて第2図のように描ける。

2.2.2 移 相 部

予熱部と同様の手段によって基本式を線形常微分化する。 (2)式は、

-0 qpo

(3)式は,

2pi

8 -----



予熱部においては、管壁から流体への熱伝達率は流体流量に比 例するものとすれば、 $h_p = q_p$(10)

となるから、(9)式は、



第2図予熱部ブロック線図

(4)式は,

(5)式は、(1)式を考慮して、

$$\frac{dq_t}{dL} = \frac{a_3 F}{Q_{t0} P_{t0} V_{t0}^2} \frac{d(\Delta I_t)}{dt} - \frac{F}{Q_{t0} V_{t0}} \frac{dp_t}{dt} \dots \dots \dots (24)$$

移相部における流体エンタルピに関する動特性方程式は、(21)、 (22)の両式より次のように求められる。ただし、このとき流体比 体積は定常状態においては管長方向に一様増加するものとしてい る。

次に流体流量に関する動特性方程式を(23), (24)より求める。 この際蒸気圧力の伝ばはきわめて速く, 圧力変化割合の管長方向 位置による相違はなく、また圧力降下は小さいものとする。

$$q_{t0} = \frac{a_{3}I_{t00}}{P_{t00}} \left\{ \frac{1}{V_{ti0}} e^{-K_{V}T_{3}s} - \frac{1}{V_{t00}} \right\} \frac{T_{3}s}{1 - T_{3}s} i_{ti} + \frac{T_{3}}{T_{4}} \left\{ \frac{1}{K_{V'}} \frac{T_{3}s}{1 - T_{3}s} - e^{-K_{V}T_{3}s} \frac{1}{1 - T_{3}s} + 1 \right\} r_{2} + \left\{ -\frac{1}{K_{V'}} \frac{T_{3}s}{1 - T_{3}s} + e^{-K_{V}T_{3}s} \frac{1}{1 - T_{3}s} + T_{3}s + 1 \right\} p_{t0} + \left\{ e^{-K_{V}T_{3}s} \frac{1}{1 - T_{3}s} - \frac{1}{K_{V'}} \frac{T_{3}s}{1 - T_{3}s} - 1 \right\} T_{3}s \theta_{t0} + \left\{ e^{-K_{V}T_{3}s} \frac{T_{3}}{T_{4}(1 - T_{3}s)} - \frac{1}{K_{V'}} \frac{T_{3}^{2}s}{T_{4}(1 - T_{3}s)} - 1 \right\} r_{3}s \theta_{t0}$$

$$T_4 = \frac{P_{t_0}F}{a_3 R_{t_0}}.....(29)$$

T₃, T₄はいずれも流体の流動時間に関する時定数である。

(25)式中の管壁から流体への伝熱量の変化割合 r1 は, 実測困難 な量であり,他の実測可能な量で置き換えることができれば実用 上都合がよい。次にこれを求める。

(21), (22)式より

$$r_{1} = \frac{1}{1 + T_{5}'s} r_{2} - \frac{C\Theta_{t_{0}}}{R_{t_{0}}(1 + T_{5}'s)} \theta_{t} + \frac{T_{5}s}{1 + T_{5}'s} h_{t}$$
......(30)

ここに

$$T_{5}' = \frac{C}{H_{t0}}$$
.....(31)

超臨界圧蒸気の熱伝達率 α については、いくつかの理論および 実験結果が発表されているがここでは、比較的信頼性の高い次式 を用いる(4)。

-16

$$T_4 \int T_4 \int T_4$$

(37)および(38)式によって移相部の動特性を表わすブロック線 図は第3図のようになる。

2.2.3 過 熱 部
(2)式は、
$$r_2 - r_1 = \frac{C}{R_{s0}} \frac{d(\Delta \Theta_{s'})}{dt}$$
(39)

(3)式は,

$$r_{1} = \frac{H_{s0}}{R_{s0}} \Delta \Theta_{s}' - \frac{H_{s0}}{R_{s0}} \Delta \Theta_{s} + q_{s} \qquad \dots \qquad (40)$$
(4)式は,

$$r_{1} = q_{s} + \frac{Q_{s0}}{k_{4}R_{s0}} \frac{d(\Delta \Theta_{s})}{dL} + \frac{F}{k_{4}V_{t0}R_{s0}} \frac{d(\Delta \Theta_{s})}{dt} \dots (41)$$
ここに,

$$k_{4} = \frac{\Delta \Theta_{s}}{\Delta I_{s}} \dots \qquad (42)$$
(5)式は,

$$\rho dq_{s} = F dv_{s} \qquad (42)$$



1312 昭和37年9月

日立言

評 論

第44卷第9号

過熱部では,流体速度が非常に大きくなる一方管壁側容量に基づ く時間遅れは長くなる。したがって,流動時間内での流体の状態 変化はきわめて小さく無視しうる。すなわち,(43)式は,

(39),(40)および(41)の各式を予熱部での相当の式(7),(10) および(13)の各式と対比すれば、同形である。したがって過熱部 出口流体温度の動特性方程式は、



次に流体の圧力に関する動特性方程式を求める。 過熱部への流体の流入量,流出量と過熱部内にある流体重量



第4図ボイラ出ロ弁



の関係として,

また,流体圧力,比体積およびエンタルピの関係としては次式が ある。

 $P_s V_s = a_1 I_s + b_1$(50) (42)式を考慮し、(49)、(50)の2式より流体圧力に関する動特 性式を求めると、

ここに,

ボイラを出てタービンに至る流体は,途中に設けられた制御弁 によってその流量が加減される。次にこの制御弁の開度と流量の 関係を求める。

弁の開度と流量の間には次の関係がある(第4図参照)。

 $K_s = C_v \sqrt{2g}$ (54) 前述のように, 圧力の伝ばは非常に速く, 圧力変化割合の弁前後 での差はない。

 $p_{s01} - p_{s02}$ (55) また, (42)式を考慮すれば, (53)式は,

結局,過熱部の動特性は(45),(51)および(56)の各式によって



この間の関係は液体の流動,ガスの流動,水管の配置などを考 慮すれば非常に複雑となり簡単には解けないが,最も影響の大き いのは炉壁であり,これによる蓄熱量をつかめば実用上十分であ ると考えられる。すなわち,炉を各水管群ごとに分け各部分につ いて炉壁,燃焼ガス,管壁および管内流体間の熱授受の系を**第6** 図のように単純化し集中定数系として考える。また,炉外への熱 損失を無視しうるものとすると,熱収支方程式が次のように与え られる。

炉壁:
$$C_f \frac{d\Theta_f}{dt} = \alpha_f A_f (\Theta_g - \Theta_f)$$
(57)
ガス: $C_g \frac{d\Theta_g}{dt} = \eta R_0 - \alpha_f A_f (\Theta_g - \Theta_f) - \alpha' A' (\Theta_g - \Theta')$

第5図のブロック線図に表わされる。
2.2.4 ガスから管壁への伝熱(火炉時定数) 最近の大容量発電用ボイラのように伝熱部がほとんど水壁よりなるボイラでは、ボイラ動特性に及ぼす炉熱容量の効果は小さく無視できるが、小形のボイラの場合は、燃焼の安定性を考慮して炉の構造が決定される結果、炉の熱容量の影響は無視しえず、これは見かけ上ガスから管壁への伝熱の遅れとなって表われる。

----- 10 ------



への伝熱量の変化割合 r_2 が与えられる。

 $\alpha' A' \{ (C_f \alpha A + C' \alpha_f A_f) s + \alpha A \alpha_f A_f \}$

 $\{C_{f}(\alpha A \alpha_{f} A_{f} + \alpha A \alpha' A' + \alpha_{f} A_{f} \alpha' A') + C_{g} \alpha_{f} A_{f}(\alpha A + \alpha' A') + C' \alpha_{f} A_{f} \alpha' A'\}s + \alpha A \alpha_{f} A_{f} \alpha' A' - r_{0}$ $\mathbf{r}_2 = \mathbf{r}_2$

 $LR_{20}\{C_f(\alpha A\alpha_f A_f + \alpha A\alpha' A' + \alpha_f A_f \alpha' A') + C_g \alpha_f A_f(\alpha A + \alpha' A') + C' \alpha_f A_f \alpha' A'\}s + \alpha A\alpha_f A_f \alpha' A' \theta \dots (61)$

3. アナログ計算機による検討

超臨界圧ボイラ動特性解析の最終的な目的は、解析結果を用い対 象とするボイラをアナログ計算機で模擬して、その制御性を検討し ひいては制御系を合成することにある。すなわち,アナログ計算機

			and the second se		and the second second	Contraction of the local division of the loc	
 形	式		並歹	ベン	~ > >	大	
最高蒸気田	:力	(第2過熱器出口)	3	50 kg	$/\mathrm{m}^2\mathrm{g}$	Ş	
最高蒸気温	度	(第2過熱器出口)	6	50 C			
最 大 蒸 発	暈			2 t/h	1		
給 水 温	度		1	20°C			
燃 焼 方	式		重	油	專	焼	
通 風 方	无		強	圧	通	風	





模擬によってボイラのいろいろな条件での特性は実装置を用いずし て直ちに簡単に知ることができ,新しいプラントの運転法や制御方 式の確立には非常に有力な手段となる。

ここでは一例として先年当社に設置された超臨界圧テストボイラ を対象にとり,前章の結果を用い制御性をアナログ計算機で検討す る。

3.1 テストボイラの概要

テストボイラの概略仕様を第2表に,流動系統を第7図に示す(3)。 ボイラは上記仕様の範囲の任意の条件で運転できるが、ここでは 動特性計算の基準状態として,流量 1.4 t/h,ボイラ出口圧力 250 kg/ cm²g, 温度 550°C とした場合を採りあげた。このときのボイラ静特 性を示すのが第8図である。すなわち、横軸にボイラ入口よりの距 離をとり,縦軸にその場所における流体の状態を示したものであ る。なおこの場合注水減温は行なっていない。

3.2 動 特 性

前章の動特性方程式をさらにアナログ計算機でボイラを模擬す るに適当な形に直し、また第8図の静特性を検討し、ボイラ各部 と各式の対応を次のようにする。

超臨界圧テストボイラの概略流動系統 第7図

com²g.

K9/

3 IL C (Kcal/kg

Ĥ

₩ (m³/kg)

¥

1,000 0.020 500 280

(),)

出温王

0.015 400 270

500 0.010 300 260

0.005 200 250

変わ

節		炭		器予	熱	部	
水				壁予	熱	部	
第	1	移	相	部移	相	部	
第	2	移	相	部移	相	部	
輻	射	過	熱	器過	熱	部	
第	2	過	熱	器過	熱	部	

これにより式中のシステムパラメタを計算し,基準状態(1.4t/h 250 kg/cm²g, 550°C)から燃料量,給水量あるいは出口弁開度を 階段状に変えた過渡応答を求めた。

3.2.1 燃料量変化に対する応答(第9図)

給水量 (q_{pi}), 出口弁開度 (f₁) を一定に保った状態で, 燃料 量r₀のみを階段状に変化した場合の応答である。燃料量の給水 量に対する釣合が破れた場合,従来のドラムボイラにあっては ドラム水位の偏倚はあるが蒸発点位置は変わらず温度の変化は





臣力

温度

1,716-1



本ボイラは,小容量テストボイラゆえ,燃 焼の安定性をはかるため, 炉壁部分を大きく とってあり, 炉壁蓄熱効果による応答遅れが 大きい。



第10 図 給水量変化に対する 応答

過熱器出口流量

第9図 燃料量変化に対する応答

1314 昭和37年9月



H

立

評

論

出口弁開度変化に対する応答 第11図

比較的少ない。強制貫流ボイラでは移相部の位置が移動するので 温度は大きく変化する。たとえば燃料量を10%変化すれば,温度 も同程度変化する。燃料量変化の圧力に及ぼす影響も温度に対す ると同程度に大きく, また比体積の変化により流体が出口方向に 押し出されるために圧力には一時的な急変が起こり速い応答をす る。なお、本テストボイラは、小容量ボイラゆえ燃焼の安定性を 計るため炉壁の部分を大きくとってあり,応答は,一般の発電用 大形ボイラに比較して遅れが相当大きくなっている。

3.2.3 出口弁開度変化に対する応答(第11図)

燃料量 (r_0) , 給水量 (q_i) を一定に保った状態で, ボイラ, ター ビン間に設けられた弁の開度を変化した場合の過渡応答である。 弁が急速に開いた場合を例にとると,流量は一時的に急増するが 給水量が変わっていないので時間が経過すれば元の値に戻る。圧 力は流量と弁開度に見合うまで急激に低下する。温度は一時的な 流速の増大により低下するが、流量が元に戻るにつれて回復し元 のエンタルピ値が保たれる。結局、エネルギーの蓄積量が小さい という特性を如実に表わしているといえる。

第44卷第9号

4. 結 言

本文では, 超臨界圧における強制貫流ボイラの動特性方程式の解 析, さらにこの結果を用いたアナログ計算機による超臨界圧ボイラ の制御性の検討結果について述べた。

アナログ計算機による動特性の検討の結果,制御上の問題点とし て特に次の諸点を指摘しえた。燃料量変動が流体の温度、圧力両方 に影響を及ぼすことはドラムボイラにおけると同様であるが、強制 貫流ボイラの場合には, 燃料量の特に圧力への効果が顕著であり, 応答が速いとともに大きさも温度に対すると同程度である。給水量 変動に対する流体の流量,圧力の変化は急激であり,給水量の制御 は超臨界圧の場合特に慎重にやらなければならない。また、給水量 による圧力の制御は適当でない。ボイラの蓄積エネルギーが非常に

3.2.2 給水量変化に対する応答(第10図)

燃料量 (r₀), 出口弁開度 (f₁) を一定に保った状態で, 給水量 (qi)のみを変化させた場合の過渡応答である。流体温度応答は, 燃料量変化に対する応答とゲイン,時定数ともほとんど同じであ るが, 圧力は, 給水量変化の直後に急激な変化を示すのみで時間 経過後はほとんど元の値に戻り一時的な変化に終わっている。こ れは前に Philo プラントにおいて行なわれた⁽⁵⁾ような給水量によ る圧力の制御が困難であることを示すものである。

小さいため、ボイラの出力を変化するには、まずボイラの入力エネ ルギーを変化しその効果を待たなければならない。従来のドラムボ イラにおけるガバナ運転をそのまま適用することはできない。

なお,次報では本文の理論的な解析を,実際のボイラでの実測結 果と対比した結果について報告する予定である。

考 文 献

- (1) 寺野: 運輸技研報告 7, 207 (昭 32-10)
- (2) 石谷: 機学会論文集(第1部) 27, 153 (昭 36-1)
- (3) 浦田, 吉原, 前田: 日立評論 43, 1075 (昭 36-9)
- (4) З. Л. Мироповский, М. Е. Шицман:

Энергомашиностроение 1, 8 (1958)

(5) S. N. Fiala: Trans of ASME 9. 389 (1957)

日立評論別冊論文集 原子力論文集 昭和37年8月発行

最近のわが国の原子力産業技術の水準を示す技術論文の集大成で,下記の 論文を掲載している。 (1冊150円送料90円)

• 原 子 力 開 発 0 現 •二酸化ウランの焼結過程とその機構 状 •TRR-3 (国産一号実験用原子炉)の建設 ・原子炉用高張力鋼の熔接性ならびに機械的性質について •日 立 教 育 訓 練 用 原 子 炉 (H T R) ・鋼の中性子照射損傷に関する研究 ——原子炉圧力容 •東京大学納臨界未満実験 装置 器用炭素鋼および低合金鋼の放射線損傷—— •王禅寺臨界実験装置(O.C.F.)の概要 ・中央フィード形バルスコラムの抽出特性 ・原子炉設計における大形電子計算機の役割 • 日 立 核 鬲虫 実 合 験 装 置 ・沸騰水形炉の動特性に関連した二相流問題 •6 MeV 線 形 電 子 加 速 装 置 の 試 作 • 沸 伝 騰 熱 の 実 験 的 •5 MeV パン・デ・グラーフ形粒子加速装置 研 究 ・沸騰水形原子炉における飛沫除去 放射線によるポリエチレンのグラフト重合 ・原子炉自動制御系の解 析 化 窒 • 11 酸 素化学線量計 • 原 子 炉 \mathcal{O} ・放射性同位元素の工業計測への利用 安 全 系 統 発 行 所 江 評 日 論 社 東京都千代田区丸の内1丁目4番地 振替口座 東京 71824 番 取 次 店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 振替口座 東京 20018 番 8.000 — 12 —

次 目