U.D.C. 621.384.62

小型ベータトロン

神原豊三* 今井宗丸** 木村 浩***

Trial-Manufactured Betatron

By Toyozō Kanbara, Munemaro Imai and Hiroshi Kimura Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

Betatron, an electron accelerator utilizing magnetic induction instead of high tension voltage, has been found to have great serviceability in industrial and medical fields as a hard X ray source. It is now in wide application for the radiography and the cancer therapy because of its high transmission, smallness of focus and other several merits.

In this paper the writers expound the construction and actual application results of a small capacity betatron which has been built as a test product at the Central Laboratory on the basis of their over one year's effort in fundamental research and designing. The machine is equipped with a magnet whose total weight is about 150 kg; the radius of electron orbit is 7 cm; and the radiated τ ray has the maximum energy of 3.5 MV and the intensity equivalent to 2.5 gr Ra.

[I]緒· 言

v

電子の高速加速装置として直接高電圧を用いて加速す る方法以外に磁気誘導により加速する方法がある。この 方法による加速装置がベータトロンと呼ばれるものであ る。ベータトロンの原理は 1928 年 Wideroe により提 案されその後多くの人々により実際に試みられたがいづ れも失敗し約 10 年後の 1939 年 Kerst(1) が初めて成 功した。彼の最初の装置は最大エネルギー 2.3 MV, 発 生する r 線強度は 1 gr Ra 相当であつたが、つゞいて 1942 年 20 MV ベータトロン⁽²⁾が試作され 1945 年には G.E. 社に於て 100 MV ベータトロン⁽³⁾が完成された。 その後 Kerst 等により 300 MV ベータトロンも試みら れているが、現在このような超高速電子加速装置として はその後原理的に更に進歩したシンクロトロンにおきか わりついある。 しかし電子エネルギーが 20~30 MV, 発生する r 線強度が 2~3 kg Ra 相当のものは、最近 Allis Chalmer 社、B.B.C. 社等に於て製品化され、工 場に於ける 5~50 cm 程度の厚い鉄板等のX線透視用或 * ** *** 日立製作所中央研究所

は病院に於ける癌の深部治療用等の実用に供せられている。

我国に於けるベータトロンの研究は数年前より教育大 学⁽⁴⁾、大阪大学⁽⁵⁾にてそれぞれ着手されているが、現在 のところ電子エネルギー 3~4 MV, r線強度 1gr Ra 程 度で諸外国に比し著るしく立遅れの状態である。

ベータトロンは超硬 X 線源として使用する場合発生 するr線のエネルギー並びに強度が大きいので透過力が 甚しく大なること、焦点が非常に小さいので鮮鋭な透視 写真が得られること、放射性同位元素例えば Co⁶⁰ 等を 用いるときに比較して発生するr線に方向性があり且つ 運転時以外は危険でないこと等の利点を有する。日立製 作所中央研究所に於てはこれらの点に注目して1年余前 よりベータトロンの研究に着手したが、先づ大型ベータ トロンの予備実験として Kerst の最初の装置程度の小型 ベータトロンの試作を行つた。昨年末に於て最大エネル ギー 3.5 MV 発生するr線強度 2.5 gr Ra 相当の安定な r 線が得られるに至つている。本稿に於ては日立製作所 中央研究所で試作した小型ベータトロンの概要並びに応 用例に就いて述べる。

日 立 評 論 電子管及び電子管応用特集号

別冊第3号

[II] ベータトロンの原理^(6~8)

ベータトロンの主体をなすものは**第1図**に示す如き磁 極を有するマグネットで、この磁極間にドーナッツ型を した電子の加速管がおかれる。加速管の内部は、10⁻⁶ mmHg 程度の高真室にたもたれこの中を電子が回転し つゝ加速される。マグネットを交流で励磁すると磁極間 の磁場が時間と共に変化するので回転電子にはその円運 動の切線方向に電場が作用し加速され、磁場の0より最 大値に至るまでの1/4~の間に電子は最大エネルギー迄 加速される。したがつて磁場の0附近即ち**第2図**の1点 で電子を入射し磁場最大に至る適当な時間即ちE点で電 子軌道をずらせてターゲットに衝突させr線を発生せし める。このベータトロンによる電子の加速原理に就いて 以下簡単に述べる。

磁場 H 内で速度 v, 質量 m の電子の画く円軌道の半 径を r とすると

mv = eHr(1)

こゝに H は半径 r 上の磁場の強さである。 今磁場 の強さが時間的に変化すると軌道内の磁束の変化のため 軌道の切線方向に電場を生じこれによつて電子が加速さ れ運動量 mv が変化する。 このとき運動量 mv と磁場



I: Injection Time

E: Expansion Time

の強さ H が比例して変るようにすれば軌道半径 r は不 変で電子が段々加速されエネルギーが増加することゝな る。これがベータトロンの原理でドーナッツ型の真空容 器内で回転する電子群を二次巻線とする変圧器にたとえ られる。扨て次にこの r が不変で加速されるための条件 を求めて見る。 今電子の円軌道内の磁束を ϕ とすると 1 turn 当りの誘起電圧は $\dot{\phi}$ であるから単位長当りの加 速電圧即ち加速電場 E は

従って $\frac{d}{dt}(mv) = eE = \frac{e\phi}{2\pi r}$(3) (1), (3) 式より

 $\phi - \phi_0 = 2\pi r^2 H$

こゝに øc は H=0 のときの磁束で今これを0とすると

これが軌道半径 r が不変であるための磁場に要求され る条件で、軌道内の磁束が軌道上の磁場 H の一様磁場 と考えたときの2倍必要とすることを示している。これ を.2:1 関係という。即ち電子にはたらく遠心力と求心 力が常に釣合つて、且つ同一円周上で加速される条件が (1) 式及び(4) 式で示されることになる。しかしベータ トロン用磁場としてはこれだけでは不十分である。例え ば今回試作した程度の小型のベータトロンでも電子は 1/4~ の間に加速管内を約 25 万回廻転しその走行距離

Fig. 2. Time Variation of Magnetic Field

は 100 km 程度になる。従つて電子を一定の軌道に收束 するような力が必要となつてくる。即ち変圧器にたとえ るとその巻線内に電流が流れるように電子が軌道上をは づれずに安定に走るための条件が必要になつてくる。即 ち安定軌道からずれた電子が再び軌道にかえつてくるよ うな復元力の作用する条件が必要になつてくる。このた めには平衡軌道の半径を r_0 としこの附近の磁場の分布 が半径 r の点に於て

 $H_r = H_{r_0} \left(\frac{r_0}{r}\right)^n \qquad 0 < n < 1 \dots \dots \dots (5)$

を満足するようになつておればよい。電子に仂く遠心力 mv^2/r と軌道上の磁場 H による求心力 evH の関係は、 軌道上では両者は釣合うので $mv^2/r_0 = evH_0$ 即ち(1)式 が成立する。今 $r > r_0$ では求心力が大きく、又 $r < r_0$ で は遠心力が大となり平衡軌道 r_0 のまわりで第3図の如 く復元力が作用し安定軌道が存在することゝなる。これ は平衡軌道面内 (Z=0) に就いてであるが Z 方向に就 いても第1図から明かなように Z=0 の面から少しくは なれた電子は磁場 H の半径方向の成分の作用をうける がその力の方向が Z=0 面の上下では逆なのでいづれも Z=0 面に向つて電子が押し返される力をうける。この ようにして回転電子に対しては r 並びに Z のいづれの 方向に対しても安定軌道が存在し、そのまわりに復元力

--- 62 ----



Fig. 3. Centripetal Force and Magnetic Force

が作用するので安定軌道からずれた電子はこのまわりに 自由振動を起すことになる。しかして上記の復元力は磁 場 H の増加と共に大になるので、この振動は減衰振動 で振巾は $H^{-1/2}$ に比例する。 これを普通ベータトロン 振動と呼んでいる。即ち平衡軌道からずれた電子はこの まわりに減衰振動をしつゝ回転し平衡軌道に近づいて行 くことになる。(5) 式の n の値としては普通 3/4 が用 いられ、この (5) 式と (4) 式より磁極の形が決定され ることになる。 ると説明している。この入射時の問題の解明はベータト ロンにより発生せる r 線強度に著るしい影響をもつもの であり今後解決すべき問題である。

以上ベータトロンの電子加速原理に就いて簡単に述べ たが、次に電子のエネルギーと磁場 H 平衡軌道半径 nとの関係を述べる。電子は 1 MV 位で $\beta(=v/c)$ か 0.95 位で光速に近くなる。こゝに c は光速である。このよ うに相対論的速度になつたときの運動のエネルギーは

福田市 中人王 探上者

こゝに mo は電子の静止質量である。

$$mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-\beta^2}} = eHr$$

であるので

$$K.E. = \frac{c^2 e H r}{v} - m_0 c^2$$

 $K.E.=3\times10^{-4}Hr-0.51$ MV(7) (7) 式に於て H は磁場の強さガウス、r は軌道半径 で cm であらわす。(7) 式より H の最大値並びに r の 値から加速電子の最大エネルギーが算出される。

ベータトロンによる加速方法は H 及び r を大にさえ すれば電子の得るエネルギーが輻射損失に等しくなる迄 加速される訳でこの限界は 500 MV 以上と考えられる。

次にベータトロンに就いて重要なことは上述の平衡軌 道へどういう方法で電子を入射するかという問題であ る。現在普通用いられている方法は、平衡軌道の外側よ り軌道の切線方向に電子を入射する。しかし磁場は時間 と共に変化しているので電子の入射電圧に対して磁場の 強さが適当な値を示す極めて短時間即ち第2図のI点で 入射された電子のみが回転しつム平衡軌道に近づくこと いなる。このとき回転電子が再び電子銃に衝突すること なくいかにして平衡軌道に落ち込むかという問題に就い ては未だはつきり解決されていない。Kerst, Serber の 最初の説によると、上述のベータトロン振動の振巾は $H^{-1/2}$ に比例して減衰するので振巾 a の減衰度 da は da = a(dE/4E) であらわされる。こゝに E は電子の入 射電圧、dEは1回転当りの加速電圧である。しかし実 際のベータトロンに就いては da の値は電子銃の大きさ に比し非常に小さい。試作装置に就いて a=1 cm, E= 10,000 V, dE=20 V/turn であつて da は 0.005 mm に すぎない。従つてこれのみで入射時の軌道收縮を説明す ることは困難である。結局空間電荷が大きな役割をして いるらしく、その後 Kerst も入射電流により空間電荷 が形成されるときのエネルギー損失により軌道が收縮す

しかし上述の如くこのような高速に加速するにはシンク ロトロンがはるかに有利である。尚我々が実用に供せん とする程度の 20~30 MV 程度では輻射損失は問題にな らない。

〔III〕 試作ベータトロンに就いて

(1) ベータトロン用マグネツト

今回 20 MV ベータトロンの予備実験として日立製作 所中央研究所で試作した 3.5 MV ベータトロンの写真を **第4図**(次頁参照)に示してある。マグネット重量は約 150 kg 程度である。 ベータトロン用マグネットとして は前節に述べた如く、所謂 2:1 関係即ち $\phi=2\pi r_0^2 H_0$ を満足するように電子の軌道内の磁束を多くすること、 又平衡軌道附近では回転電子が收斂して安定な軌道を画 くための $H \gg r^{-n}$, 1 > n > 0 の条件を満足するように磁 極の形を適当に設計することが必要である。 この n の 値としては 3/4 が普通用いられており、本試作装置でも $n \Rightarrow 3/4$ にとつた。 又マグネットは交流で励磁するので 珪素鋼板を積重ねて用いた。特に磁極は放射状にはり合 せてある。

マグネットの励磁には第5図(次頁参照)に示すような 共振回路を用いた。電源発電機は 500~, 100 V 舶用高 周波発電機で出力 1.4 kW 程度で直流電動機による周波 数を変化しうる。これが共振回路の銅損、コンデンサー

---- 63 -----





第4図 3.5 MV ベータトロン
1. マグネット
3. 同調用コンデンサー
4. 高周波発電機
5. 電子入射用電源
6. Expansion 用電源
Fig. 4. 3.5 MV Betatron



第6図 共振回路のベクトル図 Fig. 6. Vector Diagram of Resonance Circuit 位である。尙共振周波数は 430~ である。

 $-E_2$

I bus annol latentrine and fill

I1

Ei

次に磁場の諸特性を実測した結果に就いて述べる。先 づnの値であるがこのためにはサーチコイルにより磁場 を測定して求める。第7図に log H-log r の関係を示 してあるが $n = -\log H / \log r$ なので図の直線部分の傾 斜がnに相当し本装置では 0.7 である。この n の値は yoke の間隙にスペーサーを入れて磁極間隙を変化して も余り変化はない。次に電子の平衡軌道の測定に就いて 述べる。このためには $\phi = 2\pi r^2 H$ を満足する点を求むれ ばよいわけであるが、この点は加速磁場 E の極小の点 に相当する。従つてこの測定には磁極間に同心円状に於 てコイルの誘起電圧 V を測定し V/r の極小になる点を 求むればよい。第8図にこの測定値を示してある。図か らみると加速電場は約7cm 附近にはつきりした極小点 を有する。しかして spacer を入れて磁極の間隙を広く するにつれて軌道内部の磁速がより減少するので平衡軌 道の半径が小さくなるのがよくわかる。同時に内側の山 が低くなり外側の山が高くなる。尙更に平衡軌道の位置 をたしかめるために一定の長さの銅線を異つた半径に巻 いたコイルを種々作り各コイルの誘起電圧を直接比較し たが上記と同じ結果が得られた。

損、鉄損を供給する。一次電流は運転中約 20 A 程度な ので一次コイルはエナメル線 0.8%, 19 本撚りを6 卷用 いた。二次コイルは 50A 以上流れるのでエナメル線 0.8¢,44 本撚りのリッツ線を用い96 卷である。いづれ も上下の磁極に半数づくまいた。二次の同調用コンデン サーは 10 µF である。二次の共振状態に於て使用され るが共振時のベクトル図を第6図にかゝげる。 E1E2 は それぞれ一次及び二次コイルの端子電圧、のは磁束であ る。二次負荷はコンデンサーのみであるから二次電流 I2 は E2 より略々 SO°進む。 この二次側のアンペアター ンを打消すために一次には I1' なる電流を生じ励磁電流 Io との合成電流が実際に一次側を流れる電流になる。Io 及び I' は共に 1,000A 前後の電流であるが位相が殆 ど 180° 異るために I1 の値は 20A 以内に収まる。即 ち共振回路を利用して大きなアンペアターンをうるわけ である。一次側に挿入した 5.2 の抵抗は運転初期に於て 同調のとれない間一次電流を抑制するために用い運転中 は完全にぬいて用いた。同調が破れたときの保護用とし ては気中遮断器が入れてある。扨て実際に運転し共振を とつたときの励磁電流は最大 50A 余りでこのときの端 子電圧は約 1,600 V, 80 kVA で回路の Q の値は約 57

ベータトロンの磁場としては以上の外にもう一つ大事 なことがある。これは電子入射時の磁場の角度変動の小 さいことである。電子がかりに 10,000 V で入射される とするとこの電子が 7 cm の半径円軌道を画く場合の 磁場の強さは約 50 ガウスである。即ち磁場の極めて弱 いとき入射された電子のみが平衡軌道に落ち込み加速さ れる可能性があるので、このような磁場の弱いときの軌

--- 64 -----

小型ベータトロン



106- D Spacer tal

道上の各部の変動が 2~3 ガウス程度以下であることが 必要である。普通これを bump⁽⁹⁾ と呼んでいるが上記 の磁場に就いて実測した結果を第9図に示してある。

(2) 電子加速管

電子加速管は磁極間におくのでドーナッツ型のものが 用いられる。現在 $3.5 \text{ MV} \prec - \beta$ トロンに使用している 加速管の写真を第10図に示してある。試作当初では内部 を真空ポンプで排気しつゝ使用したので内面をうすく銀 鍍金して用いた。現在の封じ切り加速管では内面にアク アダックを塗布してある。内部抵抗は数十オーム程度で ある。これは内壁に衝突する電子流を接地するためであ る。電子を発射する電子銃は、回転電子に対する障害を なるべく少くするため小さくつくることが望ましい。電 子は $1/4 \sim$ の間に加速管内を 25万回余り回転するので その走行距離は 100 km 程度になるが、内部の真空度は 磁場に電子を収斂させる作用があるので割に楽で 10^{-6} mmHg 程度なれば十分である。尚封じ切り加速管では 調整が楽であり、又 10 min で取換えることが出来る。

Man







— 65 ——

電子管及び電子管応用特集号 日立評論 別冊第3号

(3) 電子の入射回路並びに Expension ベータトロンにて加速管内で電子を入射する時期は磁 場が第2図の I 点で示すような電子を加速する 1/4~の 内でも弱い適当な時期にパルス電圧をもつて行う。又加 速された電子によりィ線を発生せしめるためには磁場が 最大値に達する迄の適当な時期即ち図で E1 或は E2 等 で電子の軌道を拡げて回転電子をターゲットに衝突せし める。第11図に電子入射回路を示してある。この回路に は磁極の端に橋渡させた飽和変圧器に磁極を通る磁束が 0を通るとき発生するパルス電圧により、サイラトロン TX-920 を点火する。この点火の時期は飽和変圧器に巻 いた直流卷線に直流電流を流しパルス電圧の位相をずら せて細く調整する。TX-920 により発生したパルス電圧 は T なる空心油入変圧器により昇圧し電子銃のフィラ メント並びにグリッドに負の5~15 kV, 巾 10~20 µSの パルス電圧を印加する。陽極並びにドーナッツは接地し て用いる。次にかくして入射され加速された電子の軌道 を磁場の最大値附近の適当な時期に拡げてターゲットに 衝突せしめるには磁極の中央突出部に巻いた上下それぞ れ 20 回巻きのコイルにパルス電流を流して行う。この ための回路を第12図に示す。前の入射用回路と同様に飽 和変圧器のパルス電圧により行う。この場合の飽和変圧 器の一次は元の 430~ の高周波電圧を C.R. 回路によ り任意に位相をずらせて用いた。第11図に示してあるよ うに結線してマグネットの誘起電圧、発生ィ線による計 数管のパルス電圧、入射パルス電圧等をブラウン管で観 察すると第13図に示すようになる。写真の正弦波は磁極 に1回卷いたコイルの誘起電圧を示すので磁束はこれと



圧の位相関係

Phase Relation Among Injection Volt-Fig. 13. age, Induced Voltage and Counter Pulse Voltage

90° ずれているわけである。即ち電子入射用パルス電圧 のところが略々磁束の0に相当する。それから90°遅れ てィ線の発生によるカウンターパルスが見えるがそこで 軌道拡大用パルス電流のため誘起電圧が変化しているの がみとめられる。



[IV] 試作ベータトロンによる二 三の測定並びに応用

今回試作したベータトロンは電子の平衡軌道半径7cm 軌道上の磁場の最大値は約 2,000 ガウスであつて(7)式 より発生する r線の最大エネルギーは 3.5 MV となる。 r線の強度の測定は科研製ローリッチェン電位計により 行つている。現在発生する r 線の強度は 2.5 gr Ra 相当 である。加速管をポンプで排気しつゝ行つた初期の実験 結果に就いて次に報告する。先づ磁極間隙の影響である が yoke 間にクラフト紙を spacer として入れ磁極間隙 を変化し電子の平衡軌道の位置をかえてア線の強度を測 定した結果を第14図に示す。図からも明かな如く spacer





小型ベータトロン











の影響は小さく平衡軌道は割に安定である。又電子銃 のフィラメント電流、入射電圧、入射の位相等を変化し てr線強度に及ぼす影響を測定した結果を第15~17 図 に示してある。次に発生するr線の角度分布をフィルム の黒化度より測定した結果を第18図に示してある。尙黒 化度はこの範囲ではr線の強度に比例する。

加速管を排気しつ、用いることは調整その他に不便な ので上述の如く封じ切りの加速管を試作した。これを用 いて現在 2~2.5 gr Ra 相当の安定な r 線が得られてい る。これより発生する r 線の鉄並びに鉛に対する吸收係 数の測定を行つた結果は**第19図**に示す通りである。r 線 強度が20%になるところで $\mu_{Fe} = 0.31$ cm⁻¹, $\mu_{Pb} = 0.51$ cm⁻¹ の値が得られた。これは 2.2 MV の単色の X 線に

--- 67 ----



てくる。即ちフイルムの黒化度SはX線強度に比例する から、今 S_{max} , S_{min} をそれぞれ 3.0, 0.3 とし強度が 1/eになる厚さ即ち吸收係度の逆数を d_0 とすると透視 し得る厚さの範囲は

$$x_{max} - x_{min} = d_0 \log e \frac{S_{max}}{S_{min}} = 2.3 d_0$$

となる。d₀の値は例えば 300kV X線の場合鉄に対して 6.5 mm, 試作せる小型ベータトロンでは約 30 mm なの で、一度に透視しうる厚さの範囲は 300kV X線の場合 1.5 cm に対し約 7 cm になる。

ベータトロンの他の長所の一つは r 線源の小さいこと である。これは回転電子流が、r 並びに Z 方向に収斂作 用をうけ細い電子流となつてターゲットに衝突するため と考えられる。試作装置に就いて焦点の大きさをピンホ ールにより測定した結果を第21 図に示してある。 尚ピ



Fig. 20. Absorption Coefficient of Fe, Cu, Pb and Al

相当する。第20図に既に報告されている鉄銅鉛アルミニ ュームによる r 線の吸收係数⁽¹⁰⁾を示してあるが、これら の物質に於ては吸收係数は 5~10 MV の r 線に対して 最小値を示すので、透視用としてはこのエネルギー附近 に最大強度をもつ 20 MV 程度のベータトロンが望まし いことになる。このことはベータトロンを透視に用いる とき吸収係数が小さいので厚いものゝ透視に有力である ばかりでなく厚さの差の大きい試料に対して有利になつ



(a) 3.5 MV ベータトロンによるもの
 γ線強度 1.7 gr Ra フイルム距離 50 cm 7 min
 第22 図 電気ドリルの透視写真





(b) 150 kV X線によるもの
 1 mA フイルム距離 50 cm 3 min
 Fig. 22. Radiograph of Motor Drill



小型ベータトロン



第23図 X線管用銅陽極の透視写真 Fig. 23. Radiograph of Copper Anode of X Ray Tube

ンホールは 0.95 mm 及び 0.5 mm の厚さの鉛の板に 0.2 mm, 0.35 mm, 0.5 mm ø の孔をあけ焦点の像をと つた。これによると r 方向が 0.2 mm Z 方向が 1 mm 程度以下と考えられる。

扨て次に試作ベータトロンの応用例に就いて述べるが このような小型のものでも最大エネルギー 3,500 kV 強 度 2.5 gr Ra 相当の r 線が発生するので、現在 200 kV 程度の X 線管にては透視困難なものに応用している。
第22図に電気ドリルの透視写真を示してある。(a) は MV r 線強度 1 kg 以上の Ra 相当のベータトロンの試作に着手しており近く完成を見る予定である。

終りに臨み本研究中種々御指導を賜つた馬場重役、菊 田所長、豊田前所長、鳥山顧問並びに浜田部長、湯本部 長に深謝申上げる。尙直接実験に協力していたゞいた斎 藤所員、加藤所員に感謝する。

参考文献

(1) D.W. Kerst: Phys. Rev. 60 47 (1941)

(2) D.W. Kerst: R.S.I. 13 387 (1942)

3.5 MV ベータトロンによるもの、(b) は 150 kV X 線管によるものである。ベータトロンによるものは、巻 線の一本一本珪素鋼板の細い隙間等迄明に検出出来る。 第23図にX線管鋼陽極の透視写真を示してある。150 kV X線管ではタングステンの部分がはつきりあらわれない が、ベータトロンによるとこの厚さがはつきり測定出来 る。

〔V〕 結 言

以上日立製作所中央研究所で昨年試作した小型ベータ トロンの概要に就いて説明した。試作装置ではマグネッ ト重量 150 kg 程度であるが、発生 r 線は最大エネルギ ー 3.5 MV 強度 2.5 gr Ra 相当であつて、透過力の大な ること、焦点の小さいこと等多くの利点を有する。日立 製作所中央研究所では、現在上記の予備実験に引続き 20

- (3) W.F. Westendrop and E.E. Charlton: J.A.P.
 16 581 (1945)
- (4) 影山: 応用物理 19 1 (1950)
- (5) 浅田、北垣: 科学 21 311 (1951)
- (6) D.W. Kerst and R. Serber: Phys. Rev. 60 53 (1941)
- (7) M.S. Livingston: Advance in Electronics No.1 p. 288 (1948)
- (8) D.W. Kerst: Miscellaneous Physical and Chemical Techniques of the Los Alamos Project p. 162 (1952)
- (9) G.D. Adams, D.W. Kerst and D.T. Scag: R.S.I. 18 799 (1947)
- (10) C.M. Davisson and R.W. Evans: Rev. Mod. Phys. 24 79 (1952)



69

『日立評論』 火力発電機器特集号 別冊 No.4

電力源として最近益々重要な使命を帯びて来た火力発電所の建設は電力会社及び自家給電用として 着々建設されております。

日立製作所に於ては戦前よりの技術に加えボイラは英国 Babcock & Wilcocx, Ltd. と、タービン 及びタービン発電機は米国 International General Electric Co. とそれぞれ技術提携を致しまして、 最新の技術を以つてその成果を挙げつゝあります。

今回最新の海外事情に加え、各種火力発電機器の成果を集め、「日立評論」別冊 No. 4 として「火 カ発電機器特集号」を来る 10 月中旬発行致すことになりました。

内容は下記の通り、本文約160頁、写真図版約400版を収録した集大成で、一読して火力発電設備の詳細に通暁出来ると共に関係各位の座右において絶好の参考書であること、信じます。何卒本誌同様御愛読願上げます。

◈内 容◈

C	0	火力発電	所 建	設に	就	いて	2										
C	0	最近の火力	発電原	動機	の概	観	•••••	日	立製作所	• 日	立.	エ	場	{守 {綿	田森		紀力
¢	0	最近のバブ	コック	• 日 :	立ボ	イラ		日	立製作所	• 日	立.	I	場	杉	沼	八	良阝
C	۵.	最近の日立	発電用	ター	ピン			日	立製作所	• 日	立	Т.	場	佐	藤	博	司
C)	最近のタ	ー ビ	ン発	電	機		日	立製作所	• 日	立	I	場	{後 {菊	藤地武	恒下十	夫郎
C		発 電 所 用	ガス	ター	Ę	×		日	立製作所	• 日	立.	I.	埸	佐	々 才	く 精	治
C)	発電所タ	- Ľ	ン補)機.			日	立製作所	• 日	立.	I	埸	浦	田		星
¢	0	最近の火力発 ボイ	電所に方ラ給水オ	~ける	高温に就	高圧		日	立製作所	{ { 日	有立	エ. エ.	場場	矢平	野川	忠克	雄巳
C)	最近の火力発	電所に方	ぐける	送風	機に就	いて	日	立製作所	{川 日	崎 立.	I I	場場	桜平	井川	泰克	男巳
C		最近の火力	発電所	配電	盤			日	立製作所	• 日:	立.国分	分工	場	森	山	-	夫
C	5	自 動 燃 焼	制 御	装 置	<u>!</u>		*****	日	立製作所	• 日	立	I.	場	泉	Ŧ	古	郎
C)	熱 計 器	に就	5	τ	::		:日	立製作所	・多	賀	T.	場	辻	田	正	
C)	火力発電所	に於け	る 運	炭設	備		日	立製作所	{亀 (日	有立	I I	場場	村平	田川.	敏克	雄巳
C	0	火力発電所用	主幹ヶー	-ブル	電流	容量	· · · · · ·	日	立製作所	日 日 日	立 電 立 初	線 「 究	場所	橋加	本子	博泰	治
		東京都千代田区 (新 丸 ビ	Z丸ノ内1 ル 7	の4 階)	B	立	評	論	社	誌代 (振著	特集等	弓1⋕ 座東	】 京	¥100 7182) 〒 1 24 番	6)	