

日本鋼管株式會社・川崎ラ・モント汽罐に就て

(日本鐵鋼協會第昭和 17 年度第 5 回講演會講演 昭 17.11.27 於法曹會館)

川 畑 球 陽*

I. 緒 言

大御稜威の下、吾が忠勇なる皇軍將兵により、全世界を蔽ふ雄渾なる大作戦が行はれてゐる聖戦下に於きまして、本日茲に鐵鋼界の權威者並びに名士の方々の前で、動力の根元をなすところの一般汽罐の概要を述べ、最も新しく、且最も進歩せる、川崎ラ・モント汽罐につき講演を致します事は、私の最も光榮に存ずるところであります。汽罐がこの世の中に現はれました年代等につきましては、史實上よりも審かでありませぬが、餘程古い事は事實でありまして、遠くエジプト文化が咲きほこつた時代、王城の扉を蒸汽力で開閉致しました事から考へましても、汽罐の濫觴とも云ふべき蒸汽發生装置の出現は、遠く有史以前にさかのぼるのであります。皇紀 2359 年 (243 年前) 銅の容器で製造された汽罐が、サーベリー¹⁾のポンプ機械に利用され、皇紀 2372 年 (230 年前) ニューコンメン²⁾が單働式蒸汽機關を造り、有名なかのジェームス・ワット³⁾が蒸汽機關に於て、蒸汽の膨脹力を往復運動より回轉運動に轉換する發明をした。皇紀 2442 年 (160 年前) 頃迄は茶釜の型に近い汽罐が用ひられたのであります。その後皇紀 2485 年 (117 年前) には水管式の汽罐が現れまして、更にイー・アルバン⁴⁾及びエス・ウキルコック⁵⁾によつて、水管式汽罐は長足の進歩を見たのでありまして、現今尙用ひられてゐるパプコック・ウキルコック⁶⁾のセクション型ものは、皇紀 2527 年 (75 年前) に製作されたのであります。而して其の間、又はそれ以後、堅型汽罐その他の水管式汽罐の發明があり、それぞれ實用に供せられたのであります。皇紀 2580 年 (22 年前) 迄の汽罐の發達は、他の機關に比して洵に遅々たるものであつたのであります。その原因と考へられますのは、往復蒸汽機關やタービンの研究が技術者にとつて華やかであり、研究仕甲斐があると考へられたからでありまして、汽罐は全く所要の蒸汽が得られれば事足りし。汽罐効率の上昇は或る程度以上望み得ざるものと諦めてゐた位であります。然るに往復機關又は蒸汽タービンの研究は、その極に達して、研究の餘地もなくなりましたのと、蒸汽タービンの發達は勿論、一般工業水準の異状なる上昇により、高温、高壓、大容量の蒸汽罐を必要とするに到りました事に刺激されて、今まで省みられなかつた汽罐に一齊に注目される事になつたのであります。又これと同時に燃焼に關する學問や、蒸汽發生の全分野に於ける學術的活動が、最近 20 年間に大飛躍をなしました事は、他の長い發達の歴史を有する他の如何なる工學的領域にも見ない程のものでありますのと、とりわけ鐵及鋼の研究の發達により、罐材料の製造及加工が大いに進歩し、同時に汽罐附屬装置、殊に燃焼装置其他化學的給水處理法の進歩、大汽罐設備の運轉成績等に就て、無数の貴重な業績が現れ、皇紀 2580 年頃迄は、比較的僅かしか知られなかつた燃料の特性や、罐水循環に就て續々詳細な研究の發表

がありましたので、全く經驗的になされた汽罐の設計が、科學的に計畫的に、設計し得るやうになつたのであります。かゝる情勢の下に、從來の自然循環の汽罐と根本的に考へを革めた新型の汽罐がどしどし現れましたのであります。此の結果從來汽罐の分類は、主として型式のみにより區別して居りましたのに對し、これ等新しき考へより出發致した汽罐を包含して、罐水循環の方法により、罐の分類を次の如く致さねばならぬやうになつたのであります。

1. 自然循環汽罐。
例. 圓罐、堅罐、セクションナル汽罐。
2. 罐水反復強制循環汽罐。
例. ラ・モント汽罐。
3. 蒸汽反復強制循環汽罐。
例. レフラー汽罐。
4. 貫流罐。例. アトモス汽罐。

川崎ラ・モント汽罐は上記の如く、罐水を反復して強壓強制循環せしめる事の特徴とする汽罐でありまして、大正 9 年頃、佛國系米人ラ・モント⁷⁾により考案されたのであります。しかし始め米國では實用に至らず、獨逸に於て實地發達して、現今の隆盛を見たのであります。洵に興味ある事でありまして、次に大體の構造を申し上げますと、川崎ラ・モント汽罐は一つのドラムを持つて居りまして、此のドラムから加熱されない降路管を経て、所謂罐水循環ポンプへ導かれ、このポンプにより連絡管を経て、各蒸發管へ約 2.5~3kg/cm² の壓力を與へて送られるのであります。

各蒸發管の入口には、スロットル、ピースが設置してありましてどの蒸發管へも、その蒸發量の約 8 倍位の罐水を統制分配してゐるのであります。スロットル・ピースの手前には篩がありますから、スロットル・ピースが異物で塞きがる憂はないのであります。蒸發管入口の罐水の速さは、約 1m/s で、その末端即ドラムに開口するところでは、20m/s 近くもありますから、給水中の酸素の影況や、軟性湯垢の沈澱附着は見ない理であります。但し硬性湯垢は、勿論理論上から申しましても、附着する可能性が多いのでありますから、硬性湯垢を形成する物質は、汽罐給水前除去する必要があるのでありまして、これは容易に處理し得るのであります。この湯垢に關して詳しくは、後で述べる事と致します。そこで川崎ラ・モント汽罐の著しい特徴を申し上げますと、大體次の通りであります。

- (1) 強制循環の爲に配管は自由である故、常にガスの流れに對して罐管を直角に配列し、且つ小徑管を用ふることが出来るから、最高の熱傳達が得られる。従つて他の自然循環の汽罐に比し、小容積輕量である。
- (2) 強制循環の爲に、汽罐室の大きさに應じて、比較的希望通りの形狀に製作できる。
- (3) ドラムは唯 1 個で、比較的小さく、据付場所は自由である。

* 川崎重工業艦船工場製罐設計課

1) Savery 2) Newcomen 3) James Watt.

4) E. Alban 5) S. Wilcox 6) Babcox-Wilcox

7) W. D. La Mont.

27

(4) 罐管はドラム内水面上に閉口し、罐水と發生蒸氣は確實に分離され、假令給水中に多量の鹽分を含有するも、ボイリング・ブライミングは行はれず、鹽分を含まず乾燥せる蒸氣を得る事が出来る。

(5) 罐管は小徑なる故、厚さ薄く、従つて管材料に危険な内應力は起らぬ故に、罐管は可成り高壓力まで普通材料を使用し得る。

(6) 既設の他種汽罐の改善に用ひ、その効率並に出力の増大を計ることが出来る。

(7) 川崎ラ・モント汽罐は凡ゆる蒸氣壓力に適應性を有し、且つ最良の効率を示す。

以上は川崎ラ・モント汽罐全般に互る主なる特徴を申述べたのであります。これによつても國家非常時物資大切の折柄川崎ラ・モント汽罐は眞に時代に適した汽罐といふべきであります。之れより實例につき本題の日本鋼管株式会社扇町工場の本汽罐について説明を申し上げます。

II. 本 論

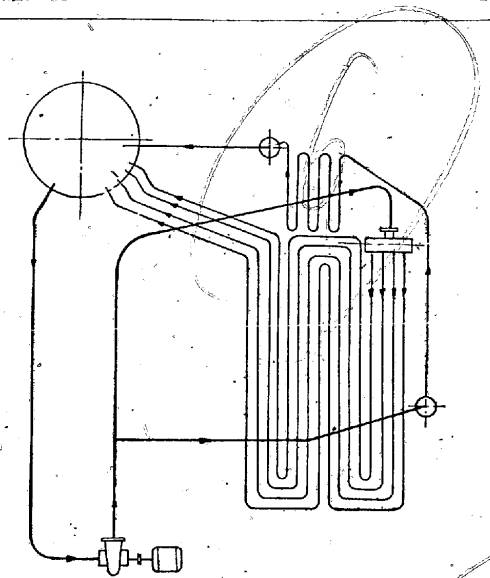
1. 汽罐計畫要目及主要寸法

先づ汽罐要目を申し上げますと、第1表に掲げた通りでありまして

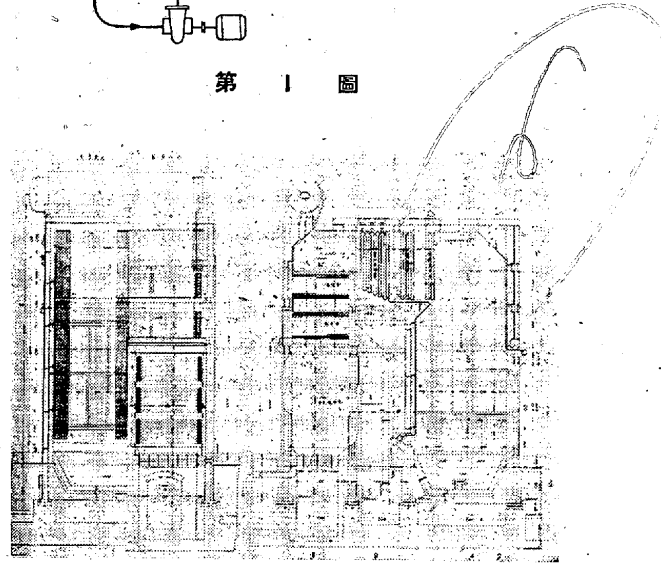
第1表 汽罐計畫要目

罐 數	1	
蒸 發 量 { 經 濟 量 } { 最 大 }	540.0 kg/h 7000 "	
蒸氣壓力(ドラム内)	25kg/cm ²	
蒸氣溫度(過熱器出口)	400°C	
給水溫度(節炭器入口)	150°C	
受熱面積	蒸發管	1100m ²
	過熱器	310m ²
	空氣豫熱器	740m ²
燃 燒 室 容 積	燃 燒 室	1440m ²
	燃 燒 室	261m ²
罐水循環ポンプ	臺數 { 電 動 式 }	1
	容 積 { タービン 量 }	(1臺豫備) 2 各 350t/h
	吐 出 壓 力	25+3kg/cm ²
給 水 ポンプ	臺數 { 電 動 式 }	(1臺豫備) 1
	容 積 { タービン 量 }	各 1 90t/h
	吐 出 壓 力	34kg/cm ²
押込送風機	臺數 { 電 動 式 }	2
	容 積 { タービン 量 }	各 750nm ³ /mn
誘引通風機	容 積 { 電 動 式 }	1
	誘 引 壓 力	2 833nm ³ /mn 水柱 110mm

燃料は高爐ガス、又はこれとコークス爐ガスの混合ガスで、比較的發熱量も低く、約 900kcal/Nm³ であります。従つて供給されるガス量は、熱量に比べて可成の容積を占めますので、燃焼速度を上昇致さない限り、火爐の容積は無暗に小さくは出来ないものであります。假りに小さく出来たとしましても、爆發を伴ひ易く、且又燃焼室を出てから燃焼するやうな現象を誘發し易いと考へゆつくり計畫致しまして、燃焼室の容積を 261m³ と致しと致したのであります。さう致しますと、燃焼室單位容積當りの負荷は、約 20 000kcal/m³h となりますので、餘裕綽々たるものであります。勿論燃焼速度と燃焼の完全さとは、微粉炭の場合のやうに厄介ではありませんが、矢張バーナーの構造、配置、空氣導入の方式に因るのであります。バーナーを設計された日本鋼管にても苦心されたやうであります。次に此の日本鋼管、川崎ラ・モント汽罐のドラム、降路管、罐水循環ポンプ、連絡管、管寄、蒸發管の關係を略圖に示すと第1圖



第 1 圖

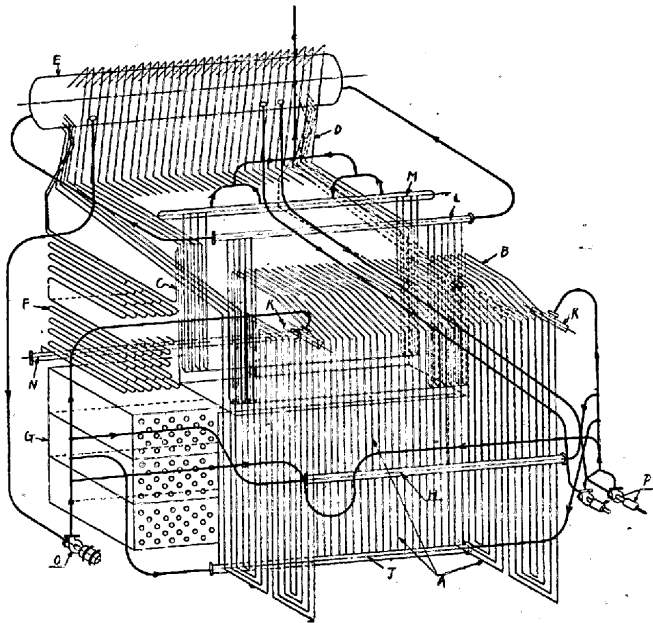


第 2 圖

表 2 第 汽罐主要寸法

汽水ドラム内徑	1500mm
同 上 長	8365mm
同 上 厚	34mm
第一蒸發管	外徑38mm×厚3.2mm×長21.6m×本數130
第二 " "	外徑38mm×厚3.2mm×長 48m×本數130
側壁 " "	外徑38mm×厚3.2mm×長 40m×本數 44
過 熱 管	外徑38mm×厚3.2mm×長26.3m×本數130
節 炭 器 管	外徑38mm×厚3.2mm×長 300m×本數 18
空 氣 預 熱 管	外徑51mm×厚2.5mm×長2,544m×本數3612
蒸 發 管 寄	内徑 200mm
過 熱 管 寄	内徑 280mm
節 炭 器 管 寄	内徑 160mm
燃 燒 室 輿 行	4050mm
燃 燒 室 幅	6600mm
燃 燒 室 容 積	261m ³
汽 罐 輿 行	1 0250mm
汽 罐 幅	7460mm
床面よりドラム受臺迄の高さ	1 1000mm
汽罐全體容積	841m ³

の如くなるのであります。第2圖は組立詳細圖、第2表は罐の主要寸法であります。この罐は少し變つて居りますから、了解し易いやうに繪畫式骨組圖で示しますと、第3圖の様になります。第3圖は燃焼室、燃焼室ラ・モント水壁、對流蒸發管、ドラム、罐水循環ボ



- | | |
|----------------|----------------|
| A. 水壁蒸發管 | J. 第2蒸發管寄 (分配) |
| B. 第1蒸發管 | K. 側壁蒸發管寄 (分配) |
| C. 第2蒸發管 | L. 第1蒸發管寄 (集合) |
| D. 過熱器管 | M. 過熱器管寄 (出口) |
| E. 汽水ドラム | N. 節炭器管寄 (入口) |
| F. 節炭器 | O. 電動驅動循環ポンプ |
| G. 空氣豫熱器 | P. タービン驅動循環ポンプ |
| H. 第1蒸發管寄 (分配) | |

第 3 圖

ンブ等罐本體は勿論、過熱器、節炭器、空氣豫熱器を包含した廣い意味の汽罐を現はしてゐるのであります。その全體容積は、自然循環の汽罐に比して餘程小さくなるのであります。例へば丁度隣りに蒸發量が半分の自然循環セクショナル型汽罐がありますが、これを例にとりますと

$$9.5\text{m(高さ)} \times 7.06\text{m(幅)} \times 10.68\text{m(奥行)} \div 716\text{m}^3(\text{容積})$$

でありまして、このラ・モント汽罐の $841\text{m}^3(\text{容積})$ と比較しますと、蒸發量に於て2倍のラ・モント汽罐は、半分の自然循環汽罐と大差無い事になります。

2. 罐水循環ポンプの臺數

次に罐水循環ポンプであります。これはこの罐には不可欠のものでありますから、特に説明致されねばなりません。先づ臺數であります。普通の場合電動機驅動1臺、蒸気タービン驅動1臺、合計2臺を汽罐1基に對して設置し、タービン驅動を常用としてゐるのであります。日本鋼管のこの罐に對しては、循環ポンプの重要性に鑑み、常に2臺を常用運轉して、1臺を豫備にしたいとの御申出がありましたので、特に電動1臺、タービン2臺合計3臺を備へたのであります。元來此の位の汽罐迄は、常用1臺豫備1臺都合2臺置くのが普通で、このやうに3臺置くのは、特例に屬するのであります。前述のやうな事情で、3臺置いて2臺常用といふ事にしたのであります。そこで又折角さうするなら百尺竿頭1歩を進めて常用2臺の中、更に1臺でもどうか差つかへのないやうにしておくと、1臺故障で停止するやうな事があつても、安心な状態あるやうに致したのであります。然しこの様に臺數を増し、容量を増しますと、如何にしても循環ポンプの所要動力が増加することは止むを得ないのであります。この場合これを犠牲にしましてポンプ容量を

350t/h 即ち、汽罐經濟出力の約 6.5 倍に致したのであります。従つて若し電動及タービン驅動を、各1臺づつ2臺平行運轉してゐる時、停電するとか、又行タービンに思はざる故障があつたと致しましても、どちらか1臺は残りますから、落付き拂つて代りのポンプを起動し得るのであります。

3. 罐水循環ポンプ驅動々力

循環ポンプを運轉するのに、どの位の動力が必要かと申しますと罐水循環ポンプは水頭が低く、水量が稍多いといふだけの事でありまして、動力は僅かで済むのであります。今この汽罐で申しますと、1臺 75HP でありますから、2臺で 150HP 馬力となりますが母汽罐は 12500kW の發電機直結の蒸気タービンを運轉し得るのでありますから、12500kW 即ち 17000 の母汽罐と考へて差支へないのであつて、循環ポンプに要する動力は、母罐の出力の約 0.9% を要する事となります。これは先程から申しましたやうに、必要以上の容量をもつた循環ポンプであつて、しかも1臺は餘分に運轉してゐる關係にありますから、實際は 100HP 足らずで良いといふ事になりますが、假りに 0.9% と致しまし、煙突の温度 15°C 引下げる事で回収し得る動力に過ぎないのであります。

4. 給水装置

次にこの汽罐の給水系につき一言申し上げますと、この汽罐は、自家用 12500kW の蒸気タービンに結合されてゐるのであります。給水の大部分はタービンの後水を使用して居り、不足は生水から蒸化器で造水した蒸留水を補給してゐるのであります。尚ドラムには、罐水連続吹出装置がありまして、罐使用壓力の飽和水を少量、連続的に吹出す装置がありまして、吹出された罐水は「フラッシュタンク」で減壓して、罐水を棄てるのであります。減壓により汽化する蒸気で罐の補給水を温め、これを蒸化器で蒸發させて、第1給水加熱器に入れ、復水と一緒にして第2給水加熱器に送り、次は給水ポンプに入り、最後は第3給水加熱器で 150°C 迄上昇して、汽罐節炭器に壓入してゐるのであります。この場合給水加熱器の熱源は、總てタービンより抽氣したものであります。

5. 湯垢の問題

最後に世間に於て往々最も掛念される湯垢の問題であります。元來水管式の汽罐に於ては、出来るだけ純良な給水を用ひなければならぬ事は、今更論を俟たないのであります。ましてこの汽罐のやうに蒸發管が曲管で、内部掃除が出来ないものに對しましては、湯垢の附着が最も掛念されるのは、一應尤もな事でありまして、然し卷頭でも申しました様に、給水に關しては、研究も大いに進み、も早やその心配はないのであります。汽罐の湯垢を考へて見ますと、『不揮發性溶解質』と『非溶解物質』と塵埃その他の微細物から生成されてゐるのであります。大體に於て石灰 (CaO)、苦土 (MgO)、珪酸 (SiO_2) の3種が、硫酸 (SO_2)、炭酸 (CO_2)、珪酸 (SiO_2) と化合析出したものであります。

然るに湯垢には經驗上硬性湯垢 (CaSO_4 、又は MgSO_4) と、軟性湯垢 [CaCO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、又は $\text{Mg}(\text{OH})_2$] とがあるのであります。實際實驗によりますと、硬性は温度の高い火に面するところにつき、軟性は温度の低いところにつくものとされて居りますが、罐管に悪影響を及ぼすのは硬性湯垢であります。

*) 湯垢の理論は「汽罐研究」VII 3. No. 27. 河村松次郎氏の説による。

この2種類が一方は高温部でつき、一方は低温部でつく、といふのは、物質の水に対する溶解度と、温度との関係に因るので、

- ① 温度上昇に伴つて溶解度を増すものと
- ② 温度上昇に伴つて溶解度を減らすものと

とがある事を意味して居るのであります。今温度 θ 度の時物質が水にとける溶解度を S とすると、溶解度の温度係数即ち $dS/d\theta$ がーのものとなつて居る理で、 $CaSO_4$ 等は $dS/d\theta$ が負で熱せられると溶解度を減じて飽和状態になり、析出しそれが管壁に附着して硬性湯垢を形成し、 $CaCO_3$ 等は反対に $dS/d\theta$ が正で、熱せられれば益々溶解度を増して、却つて飽和する迄に餘裕を生じ、その溶液は反対に低温部で飽和状態に達して析出するといふ事になるのであります。これから考へますと、硬性湯垢の原因になる物質を、豫め罐に入れる前に除けば良いのであります。これは容易に行ひ得る事なのであります。

更に硬性湯垢に對し安全を期すならば、磷酸ソーダ、炭酸ソーダ等の清浄剤を用ひて、硬性湯垢となるべき物質に反應せしめ、非溶解軟性物として沈澱させ汽罐から排出せしめる事も出来るのであります。これ等の事は、近代水管式の汽罐では、何れも行はれてゐる給水處理法でありますから、ラ・モント汽罐であるが故に負擔が増したわけではありません。又一般に水管式汽罐では、罐管の内部掃除といふ事は、實際上大きな管を用ふる汽罐でも十分出来るものでもありませんから、給水處理に力をそゝぐ方が賢明であります。従つて給水は、何れの汽罐でも純なる程良いのであります。日本鋼管のやうな給水装置であれば、結構なのであります。

III. 運轉成績

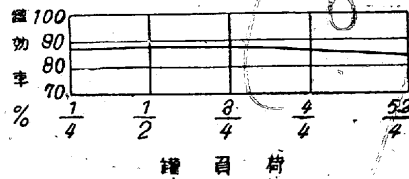
最後にこの汽罐の運轉成績を揭示致します。第3表は摘要表であ

第3表 試運轉成績摘要表

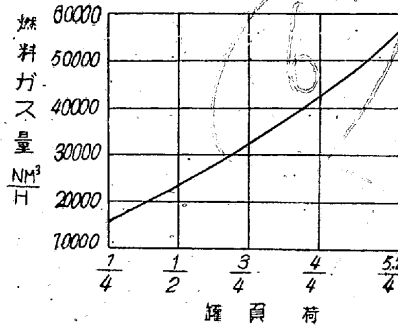
試運轉施行年月日	昭和17年7月12日	昭和17年7月14日
負荷	4/4 (54t)	過負荷 (70t)
汽罐蒸氣壓力 (ドラム内) (kg/cm ²)	25.1	25
燃 燒 室 温度 °C	883	947
第一蒸發管前	779	826
過熱器前	589	630
第二蒸發管前	442	480
節炭器前	325	351
空氣豫熱器前	222	241
煙道	157	166
空氣温度 °C		
押込送風機入口	34	34
空氣豫熱器出口	190	200
給水温度 °C		
節炭器入口	145	150.7
節炭器出口	215	218
蒸氣温度 °C		
過熱器出口	306	398
蒸氣發生量 kg/h	5 5420	7 0150
燃料消費量 nm ³ /h	4 1350	5 5000
使用燃料 {高爐ガス kcal/nm ³ }	985	937
罐 效 率 %	85.2	84.3

ります。1週間に互る試運轉の結果を、それぞれダイアグラムで表はしますと、第4圖～第7圖の通りであります。圖表中に罐負荷4/4とあるのは、正常負荷の場合で蒸發量54t/hを示して居ります。従つて1/2罐負荷とは27t/hの蒸發量であります。木だ色々申し上げ度いのでありますが餘り長くなりますから之を以て私の話を終ります。

拙講に對し御静聽を感謝致します。

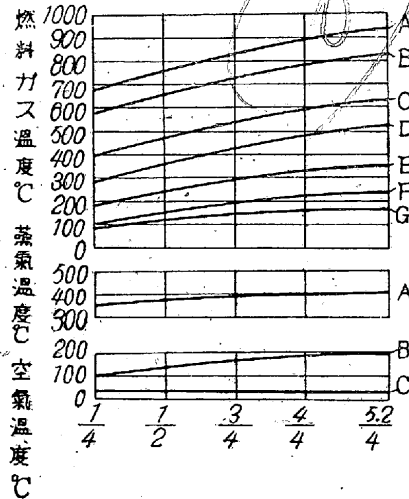


第4圖 罐效率



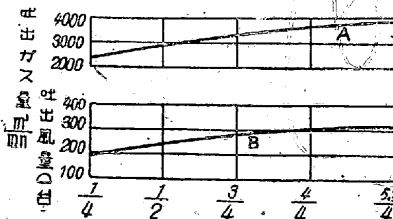
燃料ガス量は發熱量 950kcal/nm³ 温度 0°C に換算せるものなり

第5圖 燃料ガス消費量



- A = 燃燒室
- B = 第一蒸發管前
- C = 過熱器前
- D = 第二蒸發管前
- E = 節炭器前
- F = 空氣豫熱器前
- G = 煙道
- A' = 過熱氣出口
- B' = 空氣豫熱器出口
- C' = 押込通風機入口

第6圖



- A = 誘導通風機吐出ガス量
- B = 押込通風機吐出風量

第7圖

[問] 燃燒室の温度 883°C 又は 947°C といふのはどの部分の温度ですか。(第3表参照)

[答] ここに揭示しました燃燒室の温度と申すものは、燃燒室出口の温度でありまして、燃燒室上部の第1蒸發管にガスが流れ込む部分で計測した温度でありますから、燃燒室各部の温度を數多く計測して、それを平均したものではありません。然し汽罐設計の場合には、燃燒室の平均温度と、今此處に揭示しました部分の燃燒室出口の温度を正確に知り度いのであります。元來燃燒には複雑な現象が伴ひ、豫めこれ等の温度を豫定する方法が無いのであります。然しウオーレンベルグ⁹⁾が提唱した「平均火爐温度」は次の假定を設ける事により、計算上求め得るのであります。其れは

1. 燃燒室全體に亘り温度、ガスの組成及單位體積當り熱發生が均一である事。
2. 燃燒室は實際寸法に近似の正六面體である事。
2. 燃燒は燃燒室終端、即ちその出口に於て完全にしかも突然終息する事。

といふ三つの假定を

⁹⁾ Wohlenberg.