

三菱ランブラン冷却器について

坂上 茂樹

Relation	ツールエンジニア, Vol.62 No.7, 2021-05, pp.44~48 ツールエンジニア, Vol.62 No.8, 2021-06, pp.76~80 ツールエンジニア, Vol.62 No.9, 2021-07, pp.77~80
Type	Preprint
Textversion	Author
Rights	この記事は、私的な目的でのみ使用することができます。 その他の使用には、著作権者に事前の許可が必要です。 This article may be downloaded for personal use only. Any other use requires prior permission of the author and Taigashuppan.

Placed on: Osaka City University Repository

三菱ランブラン冷却器について

坂上茂樹

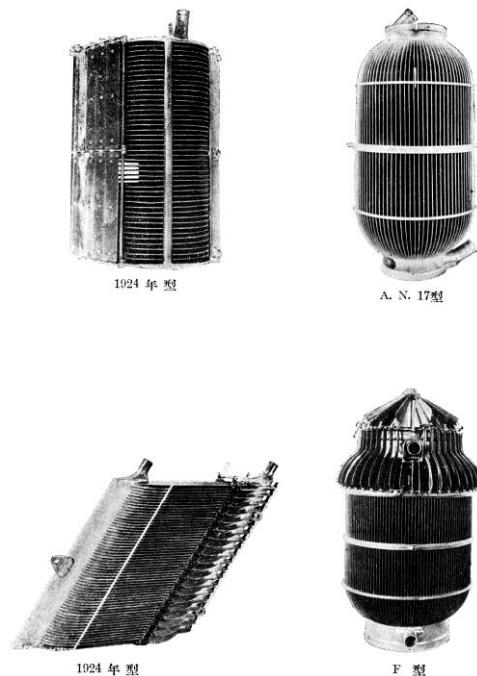
はじめに

本稿は第一次世界大戦期，フランスを中心に航空界で名を成し，1924年7月，三菱内燃機に導入され，'28年5月の三菱航空機(株)への商号変更後も暫し製造されたランブラン冷却器の構造・技術解説の試みである。ランブラン冷却器は外観のみが絵葉書等を通じて伝えられて来た感があり，その技術的内容に踏み込んだ信頼するに足る情報は至って少ない。本稿が典拠とする文献は三菱内燃機株式会社，昭和二年六月増補改訂『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』であり，以下ではその紹介と若干の解説に努めたい¹。

1) Alexandre Lamblin と彼の発明になる航空用熱交換器

Alexandre Carlos Marie Joseph Lamblin(仏：1885~1933)は発明家，航空を含むモータースポーツの振興家で，*L'Aéro-Sports* 誌の創刊者としても航空史にその名をとどめている。このアレクサンドル・ランブランが特異な構造を有する飛行機用水冷却器，油冷却器に係わるフランス特許を取得したのは1916年6月14日であった。

図1 Lamblin 冷却器の代表的諸型式



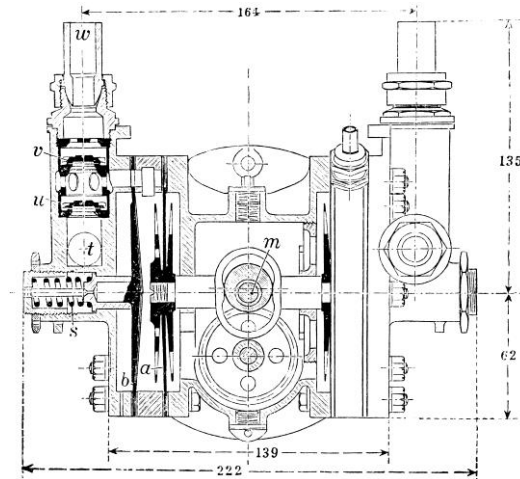
『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』巻頭グラヴィア。

¹ 現物には社名“内燃”の上に訂正用2重線と航空との組合せ印がスタンプされている。

図1はランブラン冷却器各形式の外観を示す。ランブラン冷却器は1920年代初めにかけてフランス航空界を中心としつつも世界的に幅広く採用され、総計1万基を超えるランブラン冷却器が製造販売された²。

また、ランブランは航空発動機用燃料ポンプにも足跡を印しており、川崎航空機でライセンス生産されたBMW-VI型航空発動機(60° 12V-160×190, 離昇630HP/1530rpm)に採用されていたそれについては邦語文献にもかなり詳しい解説が見られる。ガソリンは図2断面図部分の t から逆止弁 u を経て革製ダイヤフラム a, b を擁するポンプ作動室に吸入され、逆止弁 v を経て w から気化器へと送られる。 m はポンプ駆動用偏心輪軸である³。

図2 BMW-6型航空発動機に採用のLamblin燃料ポンプ



内丸『内燃機関(後編)』改訂版, 813頁, 第721圖.

表1~●は基本型をなす提灯型——確かに高張提灯風の外見を有す——ランブラン冷却器の装備例の一部である。一連の表についてはそれらが正確に時系列を反映したものであるのか否かについて考証を行い得ていないものの、一続きにまとめてしまうと長くなり過ぎるため、原表の区切りに従って分離し、中身の縦覧と若干の解説を試みておく。

表1には23件が例示されている。機体メーカーはやはりフランスが最多で、他にオランダ、米国、英国、イタリアが並ぶ。単葉機あり複葉機あり、単発機あり双発機あり、陸上機あり水上機(Hydravion:この語は時に飛行艇をも含む)ありといった多彩な陣容である。Boccaccioは機体名。発動機に関して、ここではHispano-Suiza(仏)V型8気筒300馬力の存在感が

² Alexandre Carlos Marie Joseph Lamblin でネット検索すれば彼の家系図が参照できる。経歴についてはWikipediaフランス語版, Alexandre Lamblin の項による。ただし、後者には彼の生年について1884年と記されている。

³ 内丸最一郎『内燃機関(後編)』改訂版, 丸善, 1931年, 813頁, 参照。

他を圧している。米国航空発動機界の雄、Wright Aeronautical Corp.は当時、イスパノ発動機のライセンスでもあった。イスパノ以外にも Fiat(伊), Salmson(仏)といった大陸勢、Napier(Lion: 英), Liberty(米)といった第一次世界大戦および戦後期のお馴染みの発動機が顔を覗かせている。Dyakは社名ではなく Sunbeam(英)の小形発動機名である。Colombo(伊)はほどなく Alfa Romeo に吸収された小規模メーカーである。

表 1 提灯型ランブラン冷却器ヲ取付タル飛行機概覽(その 1)

冷却器 ノ 型式	種 類 及 名 稱	発 動 機	エンジン 形式 冷却器 ノ 数
A	Nieuport, Appareil de chasse monoplace 29Cl	Hispano 300HP	2
〃	Hanriot, Avion monoplace	Hispano 300 〃	2
〃	Descamps, Avion monoplace	Hispano 300 〃	2
〃	Borel, Avion de record	Hispano 300 〃	2
〃	Dewoitine, Avion de chasse	Hispano 300 〃	2
〃	Societe anonyme Hollandaise Fokker	Hispano 300 〃	2
〃	Chantiers Aero-Maritimes de la Seine	Hispano 300 〃	2
A Special [Ⓞ]	Bleriot Aeronautique (Spad 41)	Hispano 300 〃	2
A Special [Ⓞ]	Ambassade d' Italie, Avion Spad XII	Hispano 220 〃	2
B	Borel-Boeccaccio, Monomoteur biplace	Hispano 300HP	2
〃	American Air Service (Etats-Unis)	Hispano 300 〃	2
〃	Liore-Olivier, Bimoteur	Hispano 300 〃	2
〃	Breguet, 14 A2	Hispano 300 〃	2
〃	Wright Aeronautical Corporation (Etas-Unis)	Hispano 300 〃	2
〃	Bellanger, Hydravion bimoteur	Hispano 300 〃	2
〃	Adams & Co (Angleterre), Avion, Av. 20	Dyak 100 HP	1
〃	Ansaldo (Italie), Avion Ecole	Colombo 100HP	1
B Special [Ⓞ]	Ansaldo (Italie)	Fiat 300 HP	2
C	Latecoere, Avion Limousine	Salmson 250/275HP	2
〃	Gastambide, Avion special a surface variable	Salmson 250/275HP	2
〃	Salmson, Avion d' essai	Salmson 300 〃	2
〃	Gloucestershire Aircraft Co Ltd, Avion Bamel mars I	Napier 450HP	2
〃	Morane-Saulnier, biplace	Liberty 400 〃	2

『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』附録(一), より。

Ⓞ印は同書に記載がない製品類型であることを示す(以下同様)。

表 2 には 25 件が掲げられている。フランス勢の他、フィンランド、ノルウェー、Curtiss Aeroplane Corp.(米)の名が加わっており、発動機にも同社の名が見える。Renault や Lorraine は V 型 12 気筒モデルであろう。Bugatti(仏)は直列 6 気筒をツインバンク化した 12 気筒型かと想われるが、これは航空発動機としてほぼ何の役にも立たなかった愚物である。特筆すべきは 5 つ目に Rateau(仏)排気ガスタービン過給機の装備例が掲げられている点である。もっとも、ラトーは斯界の先駆者ではあったが、排気ガスタービン過給機の実用化は第二次世界大戦期、米国の功績となる。

表 2 提灯型ランブラン冷却器ヲ取付タル飛行機概覽(その 2)

冷却器 ノ型式	種 類 及 名 稱	發 動 機	發動機 個ニ對ス ル冷却器 ノ數
C	Fatman, biplace	Liberty 400HP	2
〃	Curtiss Aeroplane Corporation (Etats-Unis)	Curtiss 400	2
〃	Societe anonyme Hollandaise Fokker	Liberty 400	2
〃	Verville-Sperry, Avion de course	Wright H2 350	2
〃	Nieuport, Avion avec turbo-compresseur Rateau	Hispano 300	2
〃	Hanriot, Avion HD18	Renault 300	2
〃	Gouvernement Finlandais	Fiat 300	2
〃	Hanriot HD15 avec turbo-compresseur Rateau	Hispano 300	2
〃	Tellier, Hydravion trimoteur	Hispano 250	2
〃	Liore-Olivier, Hydravion de transport aerien trimoteur	Hispano 150	1
〃	Caudron, Avion Ecole	Hispano 150	1
〃	Gouvernement Norvegien	Hispano 150	1
〃	Potez, trimoteur	Hispano 150	1
〃	Wright Aeronautical Corporation (Paterson U. S. A.)	Hispano 150	1
D	Morane-Saulnier, biplace	Bugatti 420HP	2
〃	Nieuport, Avion de transport aerien	Sunbeam 420	2
〃	American Air Service (Etats-Unis)	Liberty 400	2
〃	Curtiss Aeroplane Corp'n, Hydravion bimoteur	Curtiss 400	2
〃	Levy Blanchard, Hydravion trimoteur,	Lorraine 370	2
〃	Tellier, Hydravion trimoteur	Lorraine 370	2
〃	Labourdette, Hydravion bimoteur	Lorraine 370	2
〃	Bleriot Aeronautique, Avion du Grand Prix	Lorraine 370HP	2
〃	Potez, Avion Limousine, Compagnie Eranco- Roumaine	Lorraine 370	2
〃	Hanriot	Lorraine 370	2
〃	Vickers-Vimy, bimoteur, Avion de transport	Lorraine 370	2

『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』附録(一), より。

表 3 にもフランス勢を中心に 25 件が掲げられており、2 つ目に 85km/h の飛行船が顔を見せている。Marcel Besson は社名ではなくフランスの海軍技師の名で、当該作品は水上滑走艇(プロペラ艇)。Marinens Flyvebaatfabrik はノルウェー、Gio. Ansaldo & C. はイタリアの企業、S.T.Ae は Section Technique de l'aeronautique(仏政府機関?)らしい。相方の Gourdou はもちろんフランス企業で、他にポルトガル、チェコ、スウェーデン勢が加わった。F.B.A.=Franco-British Aviation もフランス企業で Schreck は設計者。

発動機では Maybach(独)、Panhard(仏)、S.P.A.(Società Piemontese Automobili : 伊→Fiat)、BMW(独)、Rolls-Royce(英: 初代 *Eagle*)、Darracq(仏)など玉石混交のきわみである。3 発機におけるラトー排気ガスタービン過給機装備例やコードロン 4 発機の名が見えるが、当時の 4 発機は背中合せの発動機を牽引式と推進式トラクタとプッシュに使う双発機まがいの形態であった。

表 3 提灯型ランブラン冷却器ヲ取付タル飛行機概覽(その 3)

冷却器 ノ 型式	種 及 名 稱	發 動 機	發動機 ノ 台数
D	Nieuport, Hydravion type Coupe Schneider	Hispano 300HP	2
〃	Dirigeable Nieuport-Astra (85kmh)	Maybach 300	3
〃	Levasseur	Hispano 180	1
〃	Caudron, Avion Ecole	Hispano 180	1
E	Potez, Avion trimoteur avec turbo compresseur Rateau	Lorraine 370HP	2
〃	Marcel Besson, Hydroglisseur	Panhard 360	2
〃	Lumiere, Avion de course	Hispano 300	1
〃	Liore Olivier, Avion	Hispano 300	1
〃	Marinens Flyvebaatfabrik, Hydravion	Hispano- 220-240HP	1
〃	Letord, bimoteur	Lorraine 220HP	1
〃	Ansaldo, avion postal	S. P. A. 205	1
〃	Ministerio da Marina (Portugal), Hydravion Tellier	Hispano 200	1
〃	S. T. Ae, Avion Gourdon C. I. (essais speciaux)	Hispano 200	1
〃	Aero (Prague), Ae 04	B. M. W. 135HP	1
F	Morane-Saulnier, biplace	Salmson 550HP	2
〃	〃 〃 biplace de chasse	Renault 450	2
〃	Handelmaatschappij "Cobor" (Amsterdam), Hydravion Fokker	Napier 450	2
〃	Gloucestershire Aircraft Co Ltd, Avion de course	Napier 450	1
〃	Van Berkel (Rotterdam), Hydravion Colonial	Rolls-Royce 350HP	2
〃	Caudron, 4 moteurs	Hispano 300	1
〃	Potez, trimoteur (Grand Prix avions de transport)	Hispano 300	1
〃	Descamps, Avion	Hispano 300	1
〃	Nieuport-Astra, Dirigeable (85 km h)	Darracq 300	2
〃	Svenska Aero A. B. (Suede)	Maybach 260	1
〃	F. B. A. (Schreck), Hydravion monomoteur	Hispano 250	1

『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』附録(一), より.

表 4 提灯型ランブラン冷却器ヲ取付タル飛行機概覽(その 4)

冷却器 ノ 型式	種 類 及 名 稱	發 動 機	發動機 ノ 台数
F	Fabre, Hydravion monomoteur	Hispano 250HP	1
〃	G. Levy-Le Pen, Hydravion monomoteur	Hispano 250	1
〃	Bleriot Aeronautique, Avion Spad 45 (4 moteurs)	Hispano 250	1
〃	Caudron, trimoteur colonial	Hispano 180	1
G [⊗]	Letord, bimoteur de reconnaissance	Lorraine 275	1
C ₃ [⊗]	S. T. Ae, Breguet 17C2 avec turbo-compresseur Rateau	Renault 450	2
D ₃ [⊗]	Bleriot Aeronautique, Avion limousine, Spad43	Lorraine 275	1
E ₃ [⊗]	Wibault, B. N. 2	Renault 500	2
〃	Rinehart (Amerique)	Hispano 300/400	1
〃	Nieuport, Avion biplace de reconnaissance pour la marine	Salmson 275	1
F ₃ [⊗]	Liore-Olivier, monoplan	Renault 300	1
G ₃ [⊗]	Besson Hydravion, 4 moteurs	Salmson 275	1
H ₃ [⊗]	Wibault BN2	Renault 600	2
〃	Societe Industrielle de Caudebec en Caux (Latham), 4 moteurs, hydr. colonial	Salmson 275	1
Speciaux [⊗]	Levasseur, Hydroplane	Ballot 20	1
〃 [⊗]	De Lamlert, Hydroglisseur		

『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』附録(一), より.

提灯型の最末尾をなす表 4 には 16 件が掲げられている。Fabre, *Hydravion* とは一般に、1910 年に世界初の水上機として誕生したフランスの機体を指すが、表示のものはその発展的末裔かと想われる。G.Ievy-Le Pen はフランスの Georges Levy と Maurice Jules-Marie Le Pen の設計になる飛行艇 G.L.40 の謂いらしい。アメリカの Rinehart は Rinehart-Whelan Company, Société Industrielle de Caudebec en Caux は *Latham* 複葉飛行艇で知られたフランスのメーカー、Levasseur 水上滑走艇(Hydroplane)の発動機欄に見える Ballot はフランスのエンジンおよび自動車メーカー。Charles de Lambert はフランス人飛行家の草分けの一人であるが、表記のアイテムは水上滑走艇である。他の機体、発動機もお馴染みのフランス物である。

表 5 1924 年型ランブラン冷却器ヲ取付タル飛行機概覧

飛行機製作所及型式	発動機名稱及馬力		
Ateliers des Mureaux, Express-Marin	Hispano	300	HP
Bernard, C. 1.	〃	〃	〃
Blériot, A. 2.	Lorraine	370	〃
C. A. M. S. Hydravion monomoteur	Hispano	300	〃
C. A. M. S. Hydravion bimoteur	〃	〃	〃
Caudron, trimoteur	Lorraine	270 et 400	〃
Dewoitine, Avion de chasse	Hispano	300	〃
Farman, Goliath bimoteur	Salmson	270	〃
Farman, 4 moteurs	Hispano	150	〃
Farman, 4 moteurs	Farman	450	〃
Farman, Limousines	Farman	450 et 600	〃
Gourdou, Avion avec turbo-compresseur	Hispano	300	〃
Hanriot, Avion de chasse	Salmson	270	〃
Latécoère, Avion postal	Lorraine	400	〃
Latham, Hydravion bimoteur de course	Lorraine	370	〃
Latham, Hydravion bimoteur commercial	Lorraine	370	〃
Nieuport-Macchi, Hydravion	Hispano	300	〃
Potez, XV. A. 2.	Lorraine	370	〃
Potez, XXIII	Lorraine	400	〃
Wibault, Avion de chasse	Hispano	300	〃

『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』附録(二), より。

表 5 は 1924 年型ランブラン冷却器の装備例を示す。機体はすべてフランス機で, Ateliers des Mureaux(Les Ateliers de Construction du Nord de la France et des Mureaux : ANF)の *Express-Marin* は高翼単葉の艦載機。C.A.M.S.は表 1 に既出。Farman(仏)の *Limousines* は爆撃機ベースの旅客機かと想われるが不詳。発動機欄にも同社の名が新たに加わった。ターボ過給版こそ見られるものの, イスパノ発動機の方はここでも相変わらず 300 馬力型までであった。

2) 三菱内燃機による技術導入

三菱内燃機は1924年7月、「現今佛國ノ飛行機ハ十中八、九此冷却器ヲ使用シ、其他ノ各國モ亦多ク之ヲ採用シツゝア」るランブラン冷却器の東洋における製造ならびに一手販売権を購入、三菱内燃機→三菱航空機名古屋製作所にてその製作・改良に当たった⁴。

三菱内燃機の主張によればランブラン冷却器は「空気抵抗少ナキモノハ冷却能率高シテフ物理學的原理」に準拠する熱交換器であり、本冷却器は空気抵抗が少ない上に軽量かつ堅牢で所要水量を節減でき、機体艤装に係わる自由度が高いことをも特徴とした⁵。

1924年12月11日、Florentin Bonnet 曹長(Adjutant)が Bernard Ferbois V2 競速機を駆ってマークした 448.171km/h の世界記録を支えたのも当冷却器である。発動機はイスパノ W 型 12 気筒、600PS の非正統的作品であった⁶。

1918 年以来製品化されて来たランブラン冷却器の愛嬌あふれる基本型について、三菱内燃機はこれを提灯型と呼称している。一方、その基本的特徴をさらに改善すべく、1924 年、つまり三菱による技術導入の年には脚装備用、翼装備用で冷却効率・空気抵抗面で改善を加えられた新型ランブラン冷却器が開発され、通常の蜂の巣型ラジエータに比して同一冷却効果に対するその重量は約 65%、空気抵抗は約 50%と謳われるに至っていた。

さらに、1925 年には垂直引込式、旋回引込式のランブラン冷却器が投入される。冷却効率・空気抵抗面での改善や機体外に突き出ている際における蜂の巣型ラジエータに比しての重量・空気抵抗削減効果は 24 年型と同じであった。

三菱内燃機曰く、「外國製品ヲ毛嫌スル彼ノ英國に於テスラモ、此の新型『ランブラン』冷却器ノミハ特ニ高評湧クガ如キ」有様であった。この“新型”2 様式についての解説が追加された昭和二年六月増補改訂『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』について、三菱内燃機は「弊社ハ時勢ノ趨勢ニ適應センガ爲ニ、茲ニ改訂増補ノ上本書ヲ刊行シ大方諸賢ノ資ニ供セントス」と大見得を切ったものである⁷。

4 『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』緒言、三菱重工業(株)『三菱重工業株式会社史』1956年、398頁、参照。三菱合資会社における Hispano-Suiza 発動機の製造権導入は'17年12月。Herzmark 式(圧縮空気により爆発性ガス[混合気]を分配)、Letombe 式(ルトム式：圧縮空気を分配)始動装置や当冷却装置に係わる技術導入はこれに付帯する事案であった。

5 「原理」とは空気速度と熱貫流係数、放熱量とが相関する件を指すらしい。

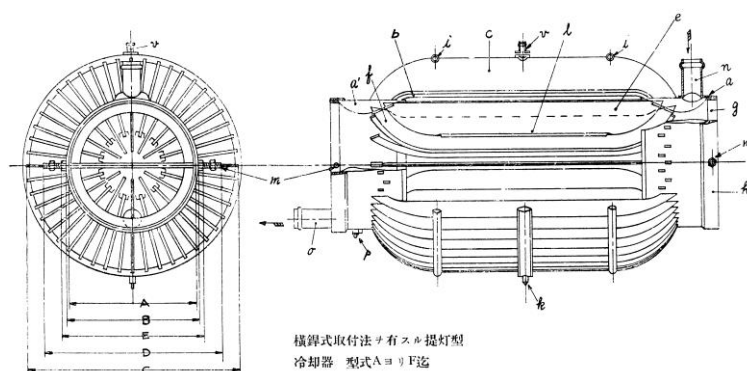
6 当『解説書』には 25 年とあるが三菱内燃機(株)『イスパノス井ザ V 型四五〇馬力航空発動機解説書』(1925 年頃)や木村秀政監修『航空学辞典』(地人書館、1959 年)、航空年表により訂正。本機を以て陸上機による速度記録更新に一旦終止符が打たれ、以後 15 年間は離水滑走距離に制限を受けぬため翼面荷重を大(主翼面積を小)とし得る水上機での更新が続く。

7 この「毛嫌い」云々は牽強付会に過ぎる。R.A.F.(王立航空工廠)における航空発動機開発はルノーいじりからスタートしているし、Wolseley Motors などは大戦中、イスパノを導入している。技術と好き嫌いとは一応、別の事柄である。

3) 提灯型ランブラン冷却器

提灯型ランブラン冷却器の構造は図3に示される。bを支柱と称する。ただし、その配置本数についての記述はない。bの両端には集水部aおよびa'が取り付けられている。集水部と呼ばれてはいるが機能的には管寄せである。これは細長い銅製帯板の長手片側をプレス成型し、折畳んで平板部にハンダ付けした構造物であったと思われる。gとhは前後集水部の外縁、つまり接合部をそれぞれ内外から補強する環、pは後方集水部排水栓である。

図3 提灯型ランブラン冷却器の構造



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』1頁，第一圖。A~E各寸度は表6，参照。

図3に観る集水部の縦断面形状は後掲図5の粗雑な描き方とは対照的に前縁の尖ったクランクY翼型のような形状であった。つまり、ランブラン冷却器の集水部は空冷星型航空発動機の気筒頭冷却促進を狙って後年、開発されるタウンエンド・リングのそれを先取りするモノとなっていた。提灯型ランブラン冷却器はあたかも軸芯を共にする2個のタウンエンド・リングをその両端に背中合せに配置することで2つの孔の間を出入りする空気の流れを加速させる基本構造を有していたワケである⁸。

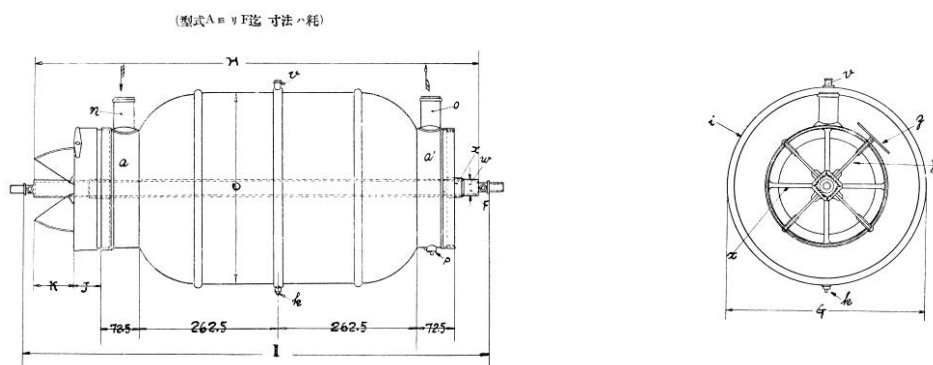
前後集水部の間は内外に多数、放射状に植えられた鋭利な三角断面を有する異形のフィン状冷却管群(外部冷却管c群，内部冷却管e群，同f群)によって連通せしめられていた。外部冷却管c群は3本の支管により等間隔支持され，中央の太い支管は内外2本の半円形管をハンダ付けにより一体化したモナカ構造の環となっており，内環の内側，円周上に明けられた孔によって外側冷却管と連通し，排水栓kより冷却管内の水を抜くことができた。その両

⁸ タウンエンド・リングは1928年、Hebbebt Charles Henry Townend(英)によって考案された空冷星型発動機気筒頭の外周をカバーする幅の狭い環状覆いで，その機体軸方向断面は内側を揚力発生方向とする翼素をなす。タウンエンド・リングは英国では一時期，盛行したが，やがて機体の整形線に繋がるヨリ長い翼弦長を有し，気筒回りへのバップル・プレート併設によって高い冷却性能を発揮しながら空気抵抗小であり，カウル・フラップを採用すれば冷却風量の加減も可能となるNACA(米)カウリングによって駆逐された。

側には単なる補強材としての細い支管 i が定位した。 v は小空気管と称され、空気抜きと給水栓とを兼ねていた。 空気抜きのため、 v は冷却水循環ポンプの吸入管に接続されることを常とした。 なお、特殊な小径モデルを除いて、背の低い内部冷却管 c の稜線上には背の高い内部冷却管 f を支えさせるための細長い w 断面金具 θ がハンダ付けされていた。

提灯型ランブラン冷却器の機体艤装は二様あり、一つは横鐸式取付法と称し、図 3 の m 、横鐸の端をブラケットに取付ける機体艤装法であった。 また、図 4 のような中央鐸取付法と呼ばれる方式も選択され得た。 w は冷却器を貫く軟鋼管で集水器補強環に組付けられた十字金具 x 、 x' を介して冷却器を支え、その両端がブラケットに抱かせる。

図 4 提灯型ランブラン冷却器の中央鐸取付法



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』3頁，第二圖。

表 6 提灯型ランブラン冷却器の諸元

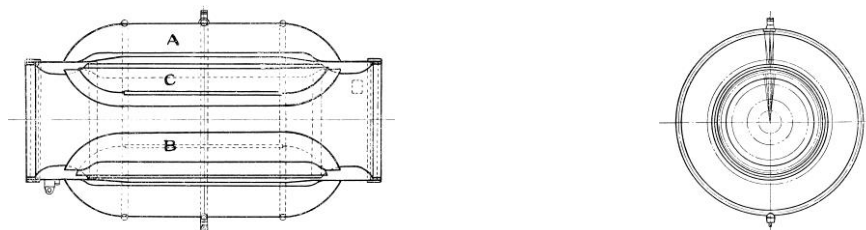
型式:—		A	B	AM	BM	CM	DM	EM	FM
長	サ	耗	670	670	670	670	670	670	670
A	集水部ノ内径	〃	150	175	150	175	200	220	245
B	〃 外縁ノ外径	〃	158	183	158	183	208	232	257
C	冷却器ノ外径	〃	295	320	295	320	345	370	395
G	支管 i ノ外径	〃	304	329	304	329	354	379	406
〃 横鐸式取付法(第一圖)									
D	横鐸ノ長	〃	225	250	225	250	275	300	325
E	兩端鐸メ付ケ用母環ノ距離	〃	168	193	168	193	218	243	268
〃 中央鐸取付法(第二圖)			耗	耗					
F	中央鐸ノ外径	吋	18	30	34	34	34	1 1/8	1 1/8
H	中央鐸ノ最モ	〃	802	817	802	817	828	844	852
短カキ長サ		〃	762	762	762	762	762	762	762
〃		〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
I	中央鐸兩支軸ノ	〃	850	865	850	865	876	892	900
最モ短カキ長サ		〃	810	810	810	810	810	810	810
J	温度調整器ヲ閉ジタルトキ占ムベキ場所	〃	38	44	38	44	46	53	53
K	〃 ヲ開キタルトキ占ムベキ場所	〃	48	57	48	57	66	75	83
内部冷却管ノ數			30	40	30	40	50	60	70
外部冷却管ノ數			90	100	80	92	110	120	130
冷却管ノ總數			120	140	110	132	160	180	200
壹個ニ對スル總冷却面積		平方米	6.29	7.32	5.77	6.90	8.44	9.49	10.54
貳個ニ對スル總冷却面積		平方米	12.58	14.64	11.54	13.80	16.88	18.98	21.08
最大切断面積		平方粉	7.30	8.04	7.30	8.04	9.34	10.75	12.25
最大切断面積 1 平方粉ニ對スル冷却面積		平方粉	0.86	0.91	0.79	0.86	0.90	0.88	0.84
冷却器ノ容積		立	4.8	6.0	4.63	5.86	6.3	7.5	8.5
水ヲ除キタルトキノ重サ但シ兩十字形支持金具ヲ含ム		斤	19.8	23.3	18.8	22.5	26.7	30.5	34.0
前進空氣抵抗但シ秒速10米ナルトキ		瓦	26.3	30.3	26.3	30.3	34.5	39.0	43.6

『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』4~5頁，より，型式の M は militaire spécification の謂いか？

提灯型ランブラン冷却器の諸元については表 6 にまとめられている。A~E 各記号が指す部位については図 3 のとおりである。なお、見慣れぬ単位“粉”=0.1m である。

冷却管は 0.2mm 厚の銅板から成形された。各型式共通の外側冷却管(図 5 A)の詳細は図 6 上(原・第四図)に示される。その両端、集水部にハンダ付けされる D 部の縁は通常、外に折り曲げて接合面積を稼がせた。中間点には中央支管への連通孔が見える。散在しているのは流れを攪乱させるためのエンボス加工による凹部と要所ごとの補強用銅製リベットである。

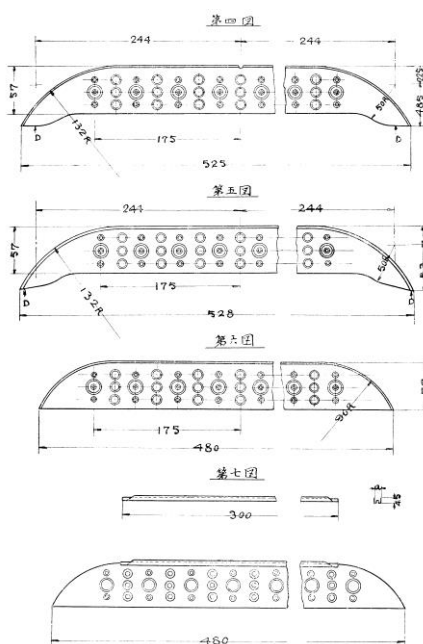
図 5 外側冷却管(A)と内側冷却管(B, C)



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』6 頁，第三圖。

内側冷却管は 3 主に分かれる。図 5 B の詳細は図 6 中上(原・第五図)に示される。この冷却管は C 型より大きな冷却器に共通使用されるモノで、図 5 C=図 6 下(原・第七図)に示される背の低い内側冷却管と交互に並列される。

図 6 提灯型ランブラン冷却器の冷却管詳細



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』7 頁，第四~第七圖。

図 6 中下(原・第六図)は容量の小さい A 型, B 型冷却器用の内側冷却管で図 5 C=図 6 下(原・第七図)の低い内側冷却管と交互に植えられる。

図 5 C=図 6 下(原・第七図)はこれと同一寸度ながら, その稜線上に制振用 ω 断面金具をハンダ付けされた内側冷却管である。

ω 断面金具の高さは 4.5mm であったが, その幅は冷却器の型式に応じて異なっていた。表 7 はこれを示す。

表 7 ω 断面金具の幅

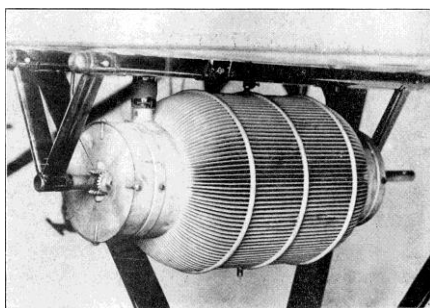
放熱器ノ型式	A	B	C	D	E	F
支鉞幅 ^a (耗)	5	6	8	8	10	10

『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』8 頁, より。

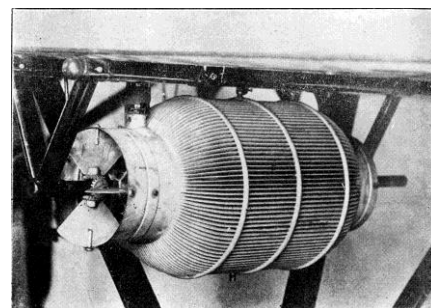
内外冷却管は銅板を深絞りし, 内側の合せ部, 弓なら弦に当る箇所は折り曲げの上, ハンダ付けで封じて造られたのであろうが, 当該文献には何の説明もない。ともかく, 個々の部品製造に際してもそれらの組立にしても縦横にハンダ付けが用いられたことは確かである。

さて, 前掲図 4 にも表現されていたことであるが, 提灯型ランブラン冷却器 A~F 型の前方には発動機の運転状況に応じて内側冷却管への空気流入量を加減する開閉フラップ機構が備えられていた。図 7 は中央鉾取付法によって艤装された提灯型ランブラン冷却器における佛國航空次官省技術本部に採用された温度調節装置の作動状況を示す。

図 7 佛國航空次官省技術本部採用型温度調節装置の作動状況



フラップ全閉

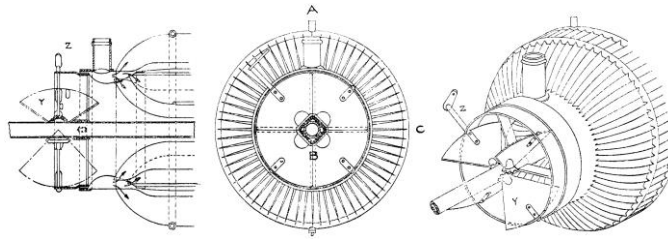


フラップ全開

『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』9 頁, よ第八圖, 第九圖。

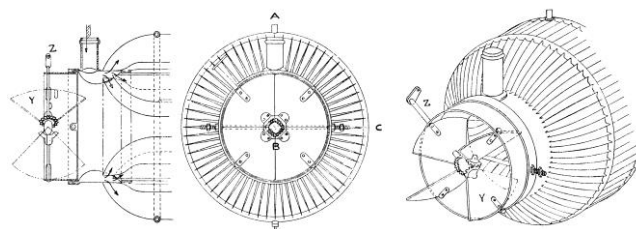
図 8 はこの中央鉾取付法に, 図 9 は横鉾式取付法に対応する各温度調節装置の構造解説図である。四分円形のフラップ Y は軟鋼板, 開閉レバー Z はその一つの軸に直付けされており, 他の 3 枚は Al 製連動歯車で駆動された。

図 8 中央鉸取付法に対応する温度調節装置の構造解説



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』11頁，第十一圖。

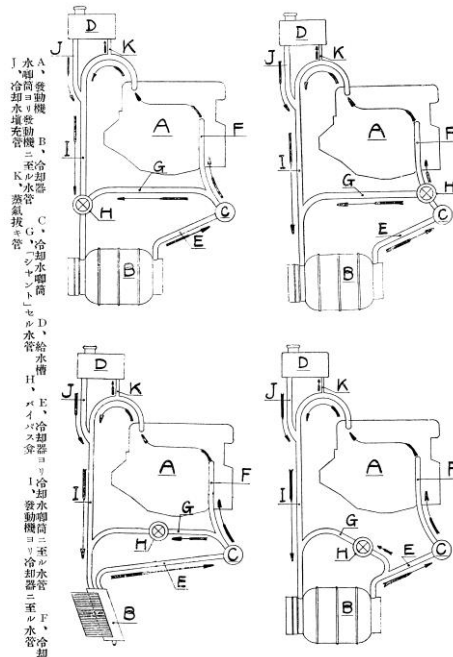
図 9 横鉸式取付法に対応する温度調節装置の構造解説



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』10頁，第十圖。

なお、冬季、過冷却の恐れがある場合には冷却器の外周に厚いフェルトなどを巻き付ける対策も発動された。また、ヨリ以上の冷却制限が必要とされる場合には水管にバイパス弁を附設する措置が講じられることもあった。

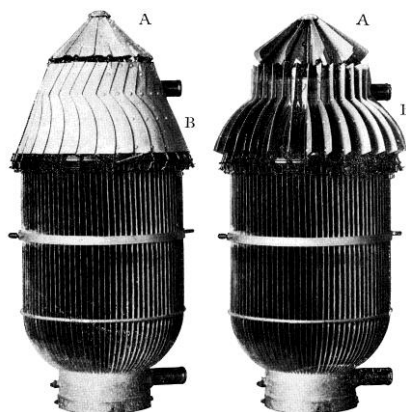
図 10 各種の冷却水循環系統



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』12頁，第十二圖。

配管系統の総括図である図 10 にはそのバイパス弁 H⊗の設置例も示されている。⊗の先, G の「『シャント』せる水管」とは shunter, つまり切換え水管の謂いであろう。なお, 同図左下には提灯型ではなく, 後出の 24 年型ランブラン冷却器が描かれている。

図 11 提灯型ランブラン冷却器 F 型への三菱内燃機開発温度調節装置取付状況



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』13 頁, 第十三圖, 第十四圖.

出図 11 は提灯型ランブラン冷却器に三菱内燃機開発の温度調節装置を取付けたモノである(前掲図 1 右下にも類似品が既出)。当装置は内外冷却水管への空気流量を同時に制限する機構であるとともに, 全閉時の空気抵抗が小さい点をその長所とした。また, 夏季には B を撤去することも容易であった。

表 8 提灯型ランブラン冷却器基本 6 系列の入・出水管取付仕様による区分

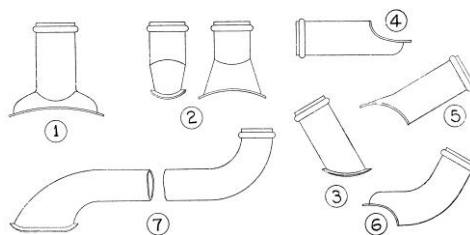
A.M.1 B.M.1 C.M.1 D.M.1 E.M.1 F.M.1	A.M.2 B.M.2 C.M.2 D.M.2 E.M.2 F.M.2	A.M.3 B.M.3 C.M.3 D.M.3 E.M.3 F.M.3	A.M.4 B.M.4 C.M.4 D.M.4 E.M.4 F.M.4	A.M.5 B.M.5 C.M.5 D.M.5 E.M.5 F.M.5
A.M.6 B.M.6 C.M.6 D.M.6 E.M.6 F.M.6	A.M.7 B.M.7 C.M.7 D.M.7 E.M.7 F.M.7	A.M.8 B.M.8 C.M.8 D.M.8 E.M.8 F.M.8	A.M.9 B.M.9 C.M.9 D.M.9 E.M.9 F.M.9	A.M.10 B.M.10 C.M.10 D.M.10 E.M.10 F.M.10
A.M.11 B.M.11 C.M.11 D.M.11 E.M.11 F.M.11	A.M.12 B.M.12 C.M.12 D.M.12 E.M.12 F.M.12	A.M.13 B.M.13 C.M.13 D.M.13 E.M.13 F.M.13	A.M.14 B.M.14 C.M.14 D.M.14 E.M.14 F.M.14	A.M.15 B.M.15 C.M.15 D.M.15 E.M.15 F.M.15

『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』15 頁, より.

表 8 に示されるように、提灯型ランブラン冷却器は A~F 型を基本サイズとしたが、特別の大形として G, H 型が設定されており、特注品としてはさらに大容量のモノも設計製作可能となっていた。基本 6 系列は入・出水管の取付仕様によって 15 通りに細分され、基本型だけで機種数は総計 90 に及んだ。

入・出水管の仕様自体には 7 種あり、図 12 の①~③は入・出水管として前後いずれにも、同④~⑦は出水管として後部のみに使用された。

図 12 提灯型ランブラン冷却器の入・出水管



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』14 頁，第十五圖。

提灯型ランブラン冷却器の機体艤装法は高い自由度を持っていたが、振動が少なく風当りの良い場所を適所とすることは当然であった。牽引式ならプロペラより後方約 1m，両脚の間，胴体下部ないし側部，推進式ならプロペラ後方約 1m の後流内が望ましいとされたが、後流内に設置不能の場合、冷却面積約 30%増しの冷却器を採用すべしと奨められた。

ランブラン冷却器は上翼内，胴体内または冷却器の直上に設置される冷却水槽を必要とした。冷却水槽の容量は 5L を最小限とし，発動機出力 100 馬力ごとに 2L を追加する概算法によって決定され，実勢としては 5~15L 程度の冷却水槽が実用されていた。

冷却水循環系統の設営はかなり厄介であった。水循環系等に安全弁を設置することは危険であり，水循環系統内の空気抜きに意を用いる方が安全とされた。冷却水の循環方向は発動機におけるそれ(イスパノなら通常，ウォーター・ジャケット後方下部より入り前方上部より出る)に順応させるべき旨，指示されている。

また，イスパノ発動機のように冷却水出口を前方，後方いずれにも取り得る発動機の場合，冷却水出口と冷却器とは直結させるようにし，かつ，使用しない方の出口からは気化器加熱用の循環系統を取るようにと教えられている。

循環系統内に飛行状態において空気や蒸気を滞留させる恐れのある凸部を設けぬこと。凸部の形成が不可避である場合には当該箇所と水槽の底部とを連通させる管が装置されるべきであり，循環系統内に存在する凹所には排水栓を設けるよう求められている。

図 13 は水槽 *b* が発動機覆内に艤装される場合の配管例を示す。*a* は発動機からの戻り水管，*c* は空気排出用小管(内径 4~5φ)，*d* は気化器加熱後の戻り水管，*e* は給水栓，*f*~*g* は冷却水ポンプ吸入側に至る水管，*h* は空気排出およびオーバーフロー用銅管(同 8~10φ)である。

図 13 発動機覆内冷却水槽の配管例

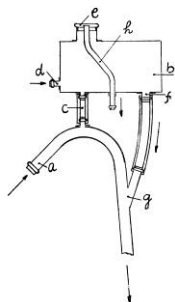
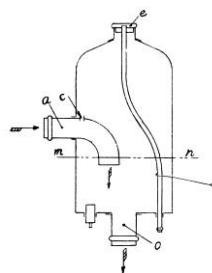


図 14 蒸気分離・排出機構



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』19頁，第十六圖，20頁，第十七圖。

図 14 は冷却水循環系統の不良により冷却水温度が沸点を下回るにも拘らず，発動機ジャケット内に蒸気が発生する場合に用いられる蒸気分離・排出機構の例を示す．符号はほぼ前図に同じ．*mn* 線は槽内水位の下限で，水位がこれより下れば冷却水中に空気混入を招く．

図 15 は翼内水槽の例であるが，翼と言っても複葉機の上翼や高翼，肩翼のような高い位置にある主翼を指す．*c* は太めに取られた空気抜き用銅管(内径 8~10φ)である．*h* はオーバーフロー管のようである．

図 15 翼内水槽の配管

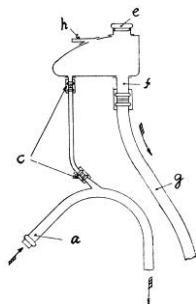
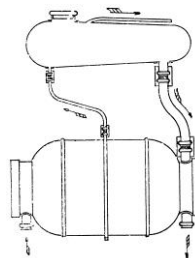


図 16 冷却器が発動機水出口より高い場合の水槽配置



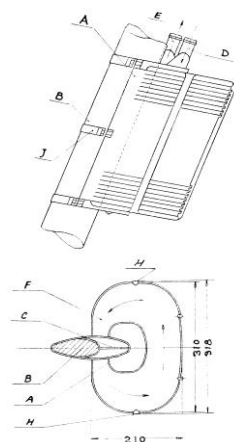
『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』20頁，第十八圖，21頁，第十九圖。

冷却器が発動機ジャケットの水出口より上に位置する場合には図 16 のように水槽を冷却器直上に置くようにする．給水管および空気抜きは水槽の底部に連通させる．

4) 1924 年型ランブラン冷却器

1924 年型ランブラン冷却器は翼支柱，翼前縁，脚支柱などに艤装されるタイプへと進化した装置となっている．図 17，18 は脚支柱艤装の例で，*A* は集水部，*C* はその内部を 2 分する内壁，*B* は脚支柱，*D* は入水管，*E* は出水管で，その位置は状況に応じて上下いずれかを選択することになる．*J* は取付用帯金である．

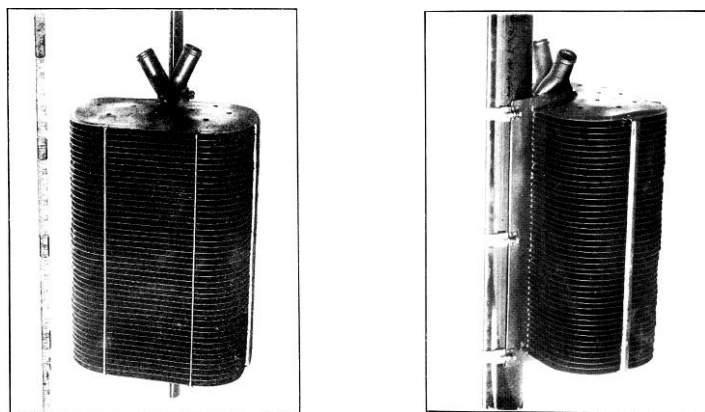
図 17 1924 年型ランブラン冷却器の概略構造



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』22 頁，第二十圖。

*F*はハンダ付けとリベット締めによって構成される銅板製の扁平な冷却管で，その内部すき間は一定に保持された．多数の冷却管は排水管と空気抜きとを兼ねる冷却器支持管 *H*により一定間隔に積層された．水は *D* より一方の集水部に入り，*F* 内を回って反対側の集水部に達し，*E* から排出された．その配管系統の全体像は前掲図 10 左下に示されている．

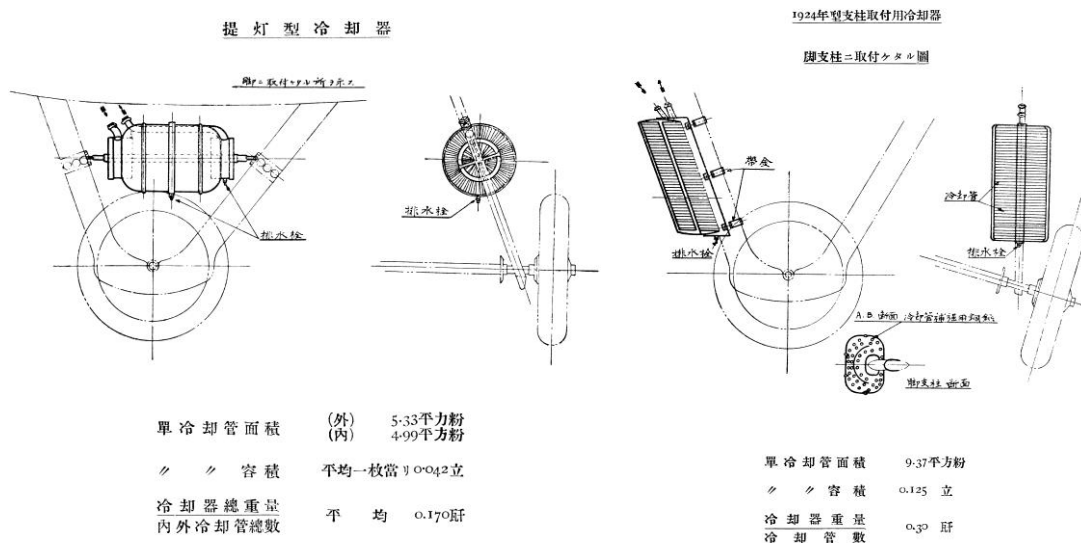
図 18 1924 年型ランブラン冷却器の外観



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』23 頁，第二十一，二十二圖。

1924 年型ランブラン冷却器の長所は対提灯型比約 55%の冷却面積，対蜂の巢型冷却器比約 65%の軽量性，集水部断面の流線型柱状成形と冷却管数の少なさによる対・蜂の巢型比約 50%の空気抵抗，空気抜きと排水との迅速性，ハンダ付け箇所への^{こぼ}る^てないし吹管のアクセス性良好で修理し易いこと，脚支柱担持による冷却器の高剛性，取付・取外しの容易さ，入出水管を支柱前面に配し流線型の覆いを付けられること，にあった。

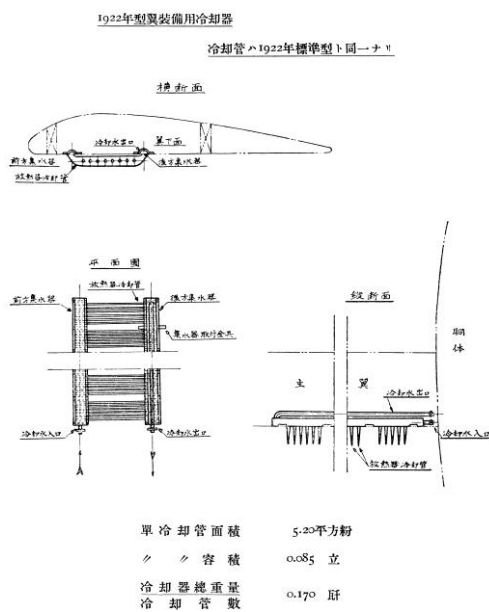
図 19 提灯型と 24 年型とを脚支柱に装備した場合の比較



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』28頁，第二十三圖，30頁，第二十五圖。

図 19 は提灯型と 24 年型のランブラン冷却器を脚支柱に装備した場合の比較を，図 20 は前掲図 1 左下に似たタイプの翼下面装備式ランブラン冷却器の装備状況を示す。原表記の 1922 年型は 24 年型の誤りである。「冷却管ハ 1922 年型標準ト同一ナリ」とは図 6 に示される冷却管のいずれか(恐らく外側)と同じ，との謂いであろう。

図 20 翼下面装備式 24 年型ランブラン冷却器



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』29頁，第二十四圖。

表 9 24 年型ランブラン冷却器の対応発動機ならびに機種別の諸元

発 動 機		使 用 冷 却 器 (壹個又ハ貳個ニ製作ス)									
		(a) 發動機壹個ヲ有スル機體ニシテ 戦闘機及偵察機等					(b) 練習機、機輸送機、水上機又ハ多數 ノ發動機ヲ有スル機體				
		冷却管 總 數	冷却面積 平方米	空 虛 普通 KG.	重 量 特 製 KG.	容 積 リットル	冷却管 總 數	冷却面積 平方米	空 虛 普通 KG.	重 量 特 製 KG.	容 積 リットル
Hispano-Suiza	180	50	4.68	14	12	6	60	5.62	17	14.5	7
〃	300	80	7.50	22.5	19	9.5	90	8.43	25	21.5	10.5
〃	350	90	8.43	25	21.5	10.5	100	9.37	28	24	12
〃	450	120	11.24	33.5	29	14.5	140	13.12	39	33.5	16.5
Lorraine-Dietrich	270	70	6.56	19.5	17	8.5	90	3.43	25	21.5	10.5
〃	370	90	8.43	25	21.5	10.5	110	10.31	31	26.5	13
〃	400	100	9.37	28	24	12	120	11.24	33.5	29	14.5
〃	450	120	11.24	33.5	29	14.5	140	13.12	39	33.5	16.5
Fiat	300	90	8.43	25	21.5	10.5	110	10.31	31	26.5	13
Liberty 12A	400	100	9.37	28	24	12	120	11.24	33.5	29	14.5
Curtiss C. 12	400	100	9.37	28	24	12	120	11.24	33.5	29	14.5
Wright 4	400	100	9.37	28	24	12	120	11.24	33.5	29	14.5
Renault	300	100	9.37	23	24	12	120	11.24	33.5	29	14.5
〃	600	210	19.68	59	50	25	250	23.42	70	60	30
Farman	450	130	12.18	36.5	31	15.5	160	14.99	45	38	19
〃	600	190	17.80	53	45.5	22.5	230	21.55	64.5	55	27.5
Salmson Z. 9	270	80	7.50	22.5	19	9.5	100	9.37	28	24	12
〃 A Z. 9	300	100	9.37	28	24	12	130	12.18	36.5	31	15.5
〃 Z 18	550	160	15.00	45	38	19	190	17.8	53	45.5	22.5
Rolls-Royce (Eagle)	360	100	9.37	28	24	12	120	11.24	33.5	29	14.5
Napier-Lion	425	100	9.37	28	24	12	120	11.24	33.5	29	14.5
Maybach	260-320	80	7.50	22.5	19	9.5	100	9.37	28	24	12
SPA	205	80	7.50	22.5	19	9.5	100	9.37	28	24	12

注意 空虛重量中、普通トアルハ丈夫ニ作ラシメモノ、特製トアルハヨリ薄キ材料ヲ用ヒ「レコード」機ニ使用セラル、モノ

『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』25~26 頁, より.

表 9 は 24 年型ランブラン冷却器の対応発動機ならびに機体用途別の諸元データである。表示の発動機群自体はほぼ、既にお馴染みとなっている顔ぶればかりである、ライト 4 は馬力からしてイスパノ・ライト E-4 *Tempest* であろう。

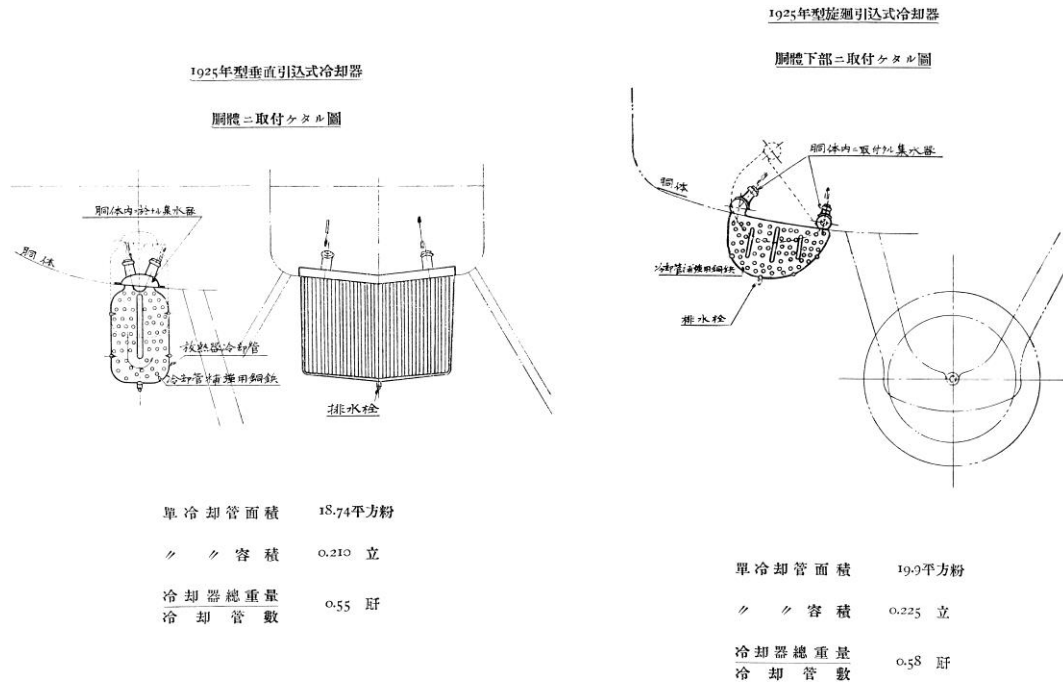
当然ながら、冷却器の艤装位置は発動機の機種によっては決められない。それにしても、戦闘機、偵察機における冷却器のシェイプアップぶりは具体的にして誠に印象的でもある。また、適応機体機種に係わりなく、特注品として薄肉の軽量モデルが設定されていた事実も同様に興味深い。

なお、24 年型ランブラン冷却器には発動機運転状況に応じて開閉されるフラップの類は組込まれていない。この調節は冷却水循環系統内のどこかに仕組まれたサーモスタットの類に依存したのであろう。ただし、これでは過冷却と凍結への不安は避けられまい。

5) 1925 年型ランブラン冷却器

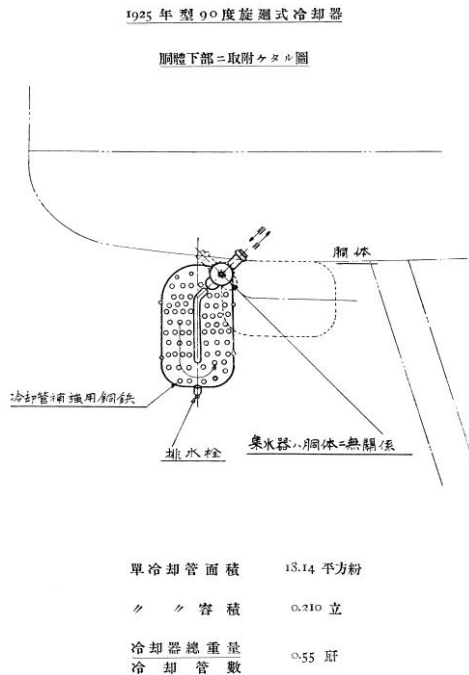
25 年型ランブラン冷却器は放熱量をフラップやシャッターなしで可変化することによって過冷却を防ぎ、併せて急降下時の突込み速度向上の助けともなり得る引込式の冷却器へと進化せしめられた。もっとも、未だ試作品的な段階にあったためか、これにも垂直引込式、旋回引込式および 90° 旋回式の 3 通りが用意されていた。図 21 には垂直引込式と旋回引込式冷却器との、図 22 には 90° 旋回式の 25 年型ランブラン冷却器が示されている。

図 21 垂直引込式ならびに旋回引込式ランブラン冷却器



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』31頁，第二十六圖，32頁，第二十七圖．冷却管數は數の誤植．

図 22 90° 旋回式ランブラン冷却器

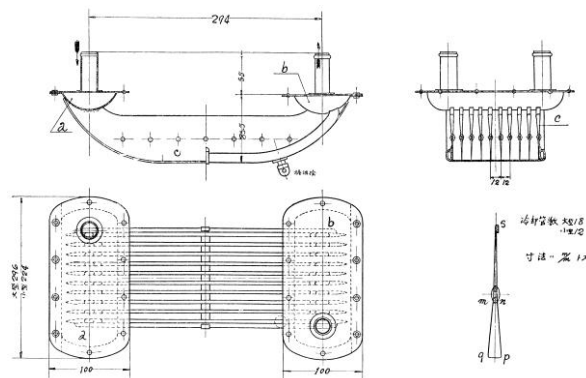


『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』33頁，第二十三圖．

6) ランブラン油冷却器

図 23 にはランブラン冷却器のいま一つの展開をなして油冷却器の 1 機種が示されている。a, b は集油部, c は冷却管である。a の「表面ニハ『入口』ナル標板ヲはんだ着ケセルガ故ニ」前後の取違えは防止されており、かつ、b には排油栓が取付けられていた。ハンダ付けが可能であったからには集油部の材料は銅板であったろう。同じく銅板製と思しき冷却管 c は三角断面をなし、両側面は内方に若干、湾曲せしめられていた。これは耐圧性への配慮でランブラン水冷却器においては観られなかった特異性と考えられる。

図 23 ランブラン油冷却器の一種



『三菱製「ランブラン」冷却器解説書』35 頁, 第二十九圖。

$mnpq$ は常に潤滑油を流過させる, mns は潤滑油の冷却が進められる部分の断面をなすが、もちろん幾分かの油はリベットによる流れの攪乱によって絶えず両部位間を行き来せしめられた。

本冷却器は油槽に直付けされることも胴体のいずれかの部位に取付けられることもできた。直付けで熱サイフォンとして機能させるには当然、油面より下の高さに本冷却器を縦に、油面計のように配置してやらねばならない。

三菱内燃機で製作していたランブラン油冷却器は 450 馬力級の大型(冷却管数 18)、300 馬力級の小型(同 12 個)および陸軍甲式四型戦闘機(イスパノ 300 馬力)用の 3 種であったが、求めに応じて幅広い製品レンジを展開させられる用意は整えられていた。

むすびにかえて

先に言及しておいたように、「空気抵抗少ナキモノハ冷却能率高シテフ物理學的原理」とは空気速度と熱貫流係数および放熱量との間に正の相関が存在する事実を指していたと思われる。他面、熱貫流係数自体は $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ないし $\text{W/m}^2\text{K}$ を以て定義される温度差 1°C 当りでの概念であるから、単位時間内に 2 つの流体を隔てる壁を貫いて高温流体から低温流体へと伝えられる熱量は両流体間の温度差が大きくなれば大となる……つまり、冷却水温度を高くしてやれば有害抗力の発生源たる放熱器の容量は小さく収まる。

このため、水冷(液冷)航空発動機においては冷却液を沸騰させ、その気化熱を冷却器で奪い、凝結させることで冷却を行う密閉蒸発冷却(R.R.)、常圧で 170°Cの高い沸点を有するエチレングリコール 70%の冷却液を用いる高温冷却(カーチスほか多数)、エチレングリコールの腐蝕性などを嫌って冷却水循環系統全体の内圧を+0.3~0.7kg/cm² 程度、高圧化する加圧冷却(Junkers ほか)など、発動機側にも高い熱負荷をかける冷却法が試みられた。気筒構造のブロック化がその背景としてあった。R.R.の密閉蒸発冷却法は機構が複雑となるため混合冷却法への妥協が行われた。また、研究レベルではユンカース(独)など 6.325kg/cm²(160°C)に達する高圧冷却まで試みていたが、結局、高温冷却と加圧冷却との要素を兼併する冷却方式が主流となって行った⁹。

高温・高圧冷却化への趨勢にランブラン水冷却器の平板主体の構造は適応し得なかった。冷却管側板をわずかに湾曲させたランブラン油冷却器はこれより若干、長く生き永らえたようにも見えるが、この方面においても高い耐圧性と冷却能力とを有する蜂の巣型が勝ち残り、汎用されるに至った¹⁰。

第一次世界大戦前後、航空発動機や航空発動機用冷却器と言えれば確かに時の先端技術ではあったが、技術進化の流れの中で観る限り、ランブラン冷却器は発動機側、冷却器側ともども未だそれほど厳しくは追い込まれていなかった時代の産物でしかなかった¹¹。

ピストン航空発動機全般の進化や本稿で触れられた大方の個別航空発動機、イスパノやそのライヴァルたちについては拙著『ピストン航空発動機の進化』、『三菱航空発動機の技術史』上巻(大河出版、近刊)をご覧頂きたい。後者においてはランブラン水冷却器の漏洩により発動機焼損→不時着といった事故譚も紹介されている。

その後、本邦国航空発動機界は水冷(液冷)発動機に関して独自と形容されるに足るほどの開発もなせぬまま、空冷星型へとシフトした。わが国における空冷星型全盛期、油冷却器は機体メーカー任せの下位アイテムとして扱われていたに過ぎない。“雷電”における発動機過熱対策として急造された大容量油冷却器の失敗(有害抗力過大)はその報いの一つであった。

⁹ Maurice Victor/林 守雄譯「高圧冷却」『内燃機関邦譯文獻集』第4巻 第3號、1939年2月(原論文1938年9月)、長尾不二夫『第2次改訂 内燃機関講義』養賢堂、1957年、下巻、732~737頁、八田桂三・浅沼 強編集『内燃機関ハンドブック』朝倉書店、1960年、566~568頁、曾田範宗・熊谷清一郎監修『内燃機関ハンドブック』養賢堂、1964年、287~290頁、参照。

¹⁰ 西脇仁一・川口恒夫「航空用油冷却器の性能試験」『東京帝國大學航空研究所彙報』No.192、1940年8月、参照。

¹¹ 西脇・川口同上論文や前掲『航空学辞典』「滑油放熱器」の項ではランブラン油冷却器が「平行板型」としてカテゴライズされている。ただし、図23に見たとおり、そこに冷却管を構成する平板同士が平行となっているような部位は存在しない。

さらに、排気ガスタービン過給方式の実用化に際しては中間冷却器開発における躓きがあった。

わが国における空冷シフトはひとまず正解と判定されざるを得ない。然しながら、それによって熱交換器を疎かにして来たことのツケまで回避することは遂に能わなかった。熱交換器が本邦航空動力技術サブシステムにおける大いなる体質的欠陥の一つをなしていた点については『三菱航空発動機の技術史』下巻(同上)の処々にて論じられることになる。