

UDC 621.454.2:
531.24

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-583

超臨界圧における液体水素の熱伝達特性(1)
(直管における実験と既存整理式との比較)

新野正之・鈴木昭夫・熊川彰長
坂本博・佐々木正樹

1979年8月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. 序 論	1
2. 超臨界圧における熱伝達特性	2
3. 実験装置	3
3.1 LH ₂ 供給配管系	3
3.2 加熱用直流電源	4
3.3 試 験 部	4
3.4 供 試 体	5
3.5 計測制御装置	5
4. 実 験	8
4.1 液体窒素による流動特性試験	8
4.2 実験方法	9
4.3 実験結果	9
4.3.1 領域①における実験結果	9
4.3.2 領域②における実験結果	10
5. 実験結果の検討	10
5.1 圧力損失について	10
5.1.1 既存の圧損整理式	10
5.1.2 実験結果と整理式との比較	11
5.2 既存の熱伝達整理式	12
5.2.1 直管の熱伝達整理式	12
5.2.2 入口補正因子	12
5.2.3 粗さ補正因子	13
5.3 実験結果と整理式との比較	13
5.3.1 領域①における比較	14
5.3.2 領域②における比較	14
6. 結 論	16
参考文献	16
付録 1. データ処理と誤差について	17
付録 2. 実験データ	22

超臨界圧における液体水素の熱伝達特性(1)*

(直管における実験と既存整理式との比較)

新野正之** 鈴木昭夫** 熊川彰長**
坂本 博** 佐々木 正 樹**

Heat Transfer Characteristics of Liquid Hydrogen at Super Critical Pressure
(Heat Transfer Experimental Data and Comparisons
with Previous Correlations)

Masayuki NIINO, Akio SUZUKI, Akinaga KUMAKAWA,
Hiroshi SAKAMOTO and Masaki SASAKI

ABSTRACT

The cooling problem in the thrust chamber is one of the most critical problems in the development of the rocket engine. Thus the engine system design is often greatly influenced by the decision of what kind of cooling system to adopt.

The nondimensional design equations, which were previously proposed by many investigators, however, are very different from each other. Consequently we can not decide what is the best adequate equation for the design. Such being the case, the authors have begun investigation of the heat transfer characteristics of liquid hydrogen in relation to the design of engines being developed in Japan.

The authors consider the main causes of the disagreement between many correlation equations to be as follows.

- (1) Many investigators did not distinguish among the differences of heat transfer phenomena found near the pseudo critical temperature T^*_{cr} .
- (2) The investigators did not pay enough attentions to the surface roughness of the test tubes and the complicated behavior of the entrance effects.

Thus the present report intends to compare the authors' experimental data with these previously correlated equations from these two points of view.

1. 序 論

ロケット燃焼室の冷却問題はエンジン開発上の極めて重要な問題の一つであり、冷却能力のいかんによってエンジンシステムの設計は大きく左右される。米国においても液体水素(LH₂)ロケットエンジンの開発に対応し

て、1960年頃からLH₂の熱伝達に関する研究が活発になり、現在までに多くのデータが発表されている。しかしこれらのデータ間の不一致も大きく、設計基準なるものも確立されていないのが実情である。そこで著者らは、現在わが国において開発研究が進められているLH₂ロケットエンジンを想定した実験条件のもとで、LH₂の熱伝達に関する詳細な知見を得るべくジュール加熱による実験^{(1)~(4)}を行ってきた。本報告ではその一部である直管

* 昭和54年6月29日受付

** 航技研・角田支所

における実験結果について報告する。また従来の実験の多くが、LH₂の擬臨界点近傍における複雑な熱伝達形態の識別なしに行われたこと、および供試発熱体の表面粗さの違い、入口効果の複雑な挙動を無視して整理されていることなどが既存整理式間の不一致の一因であると考え、著者らのデータと諸整理式との比較、検討を行った。また圧力損失についても実験結果と既存整理式との比較を試みた。

2. 超臨界圧におけるLH₂の熱伝達特性

LH₂の熱伝達を考える時、超臨界圧での熱的物性値の顕著な変化を無視することはできない。図1には3.13MPaにおけるパラ水素の定圧比熱C_p、熱伝導率λ、粘性係数μ、密度ρの温度による変化を示す。特にC_pが極大値を示す温度を擬臨界温度T_{cr}^{*}といい、この温度を境にして他の物性値にも大きな変化が見られる。このような物性値の変化が当然熱伝達率にも影響を及ぼし、超臨界圧での熱伝達特性を複雑にしている。Barrowら⁽⁵⁾によると臨界点(臨界圧力P_{cr}=1.29MPa、臨界温度T_{cr}=33.0K)近傍の熱伝達形態は図2に示すように次の五つに分けることができる。

- ① 亜臨界二相流熱伝達
- ② 亜臨界水素蒸気熱伝達
- ③ 超臨界気相熱伝達
- ④ 近臨界気相熱伝達
- ⑤ 近臨界液相熱伝達

①についてはまだ実験例も少なく、ロケット燃焼室の冷却を亜臨界圧下で行うことはあまりないので、ここでは割愛する。②と③は気相による单相熱伝達が支配する

領域なので一括して超臨界領域③と考える。一方④、⑤はT_{cr}^{*}近傍の物性値の変化が熱伝達に大きく影響する領域④として取扱う。しかし領域③と領域④の境界線をどこに引くかについてはいろいろな説⁽⁵⁾⁽⁶⁾があり、はっきりしていない。

ところでLH₂のデータ整理に用いられるコルバン型の熱伝達整理式は一般にヌセルト数(N_u)、レイノルズ数(R_e)、プラントル数(P_r)を用いて次式のように表わされる。

$$N_u \propto R_e^{0.6} P_r^{0.4} \tag{1}$$

$$\text{ここで } N_u = \frac{h D_i}{\lambda}, \quad R_e = \frac{U D_i}{\nu}, \quad P_r = \frac{\nu}{\kappa}, \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}, \quad U \text{ は}$$

平均流速、D_iは管内径、κは液体の温度伝導率、hは熱伝達率である。

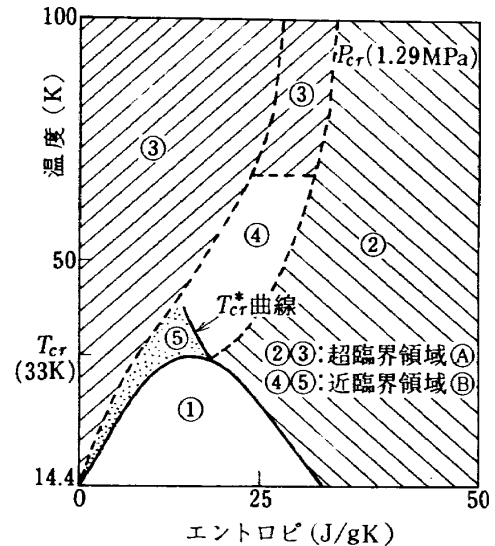


図2 臨界点近傍の熱伝達形態分布 (参考文献(5))

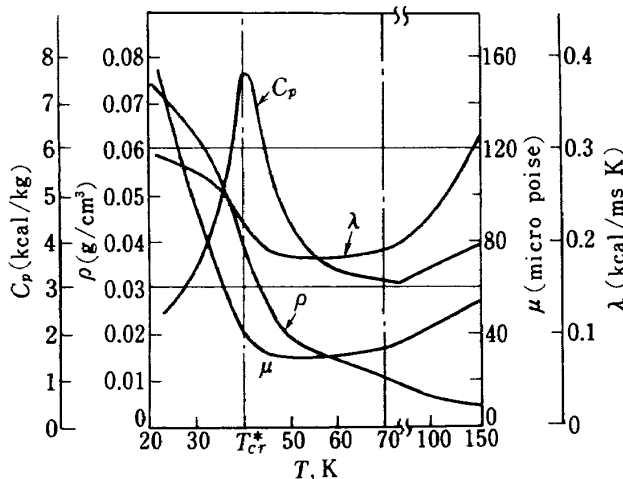


図1 パラ水素(水素には二つの核スピン異性体があり、二つの陽子のスピン軸が同じ向きのものをオルソ水素、逆向きのものをパラ水素という)の3.13 MPaにおける物性値の変化

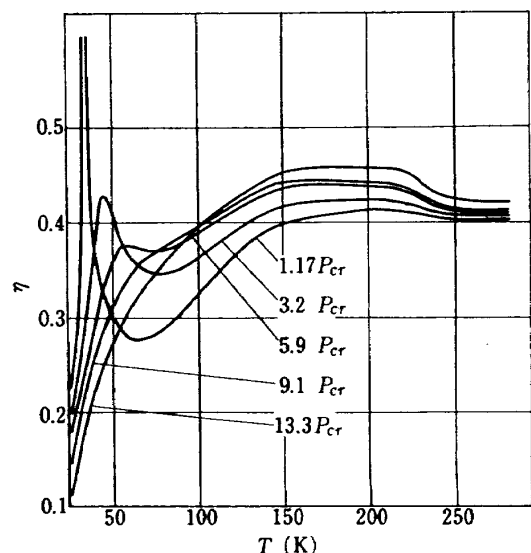


図3 ηとP, Tとの相関 (参考文献(7))

式(1)を変形し熱伝達率 h に最も大きく影響を及ぼす物性値の組合せとして、次式で表わされる η (fluid parameter)⁽⁷⁾を考える。

$$\eta = C_p^{0.4} \lambda^{0.6} / \mu^{0.4} \quad (2)$$

著者らは図3に示す η の温度 T 、圧力 P に対する変化の様子から判断して、 $P < 9P_{cr}$ かつ $T < 80\text{K}$ の範囲を領域④とし、それ以外を領域⑤とするのが妥当と考えている。本報告では実験条件との対応で考えると実験圧力がすべて $P < 9P_{cr}$ であるから一応

$$\text{領域④} \quad \text{試験部入口温度 } T_{in} > T_{cr}^*$$

$$\text{領域⑤} \quad \text{ " } \quad T_{in} \leq T_{cr}^*$$

という分類で話を進める。

それではまず領域④についての熱伝達特性を考えてみる。この領域については多くのデータが蓄積されており、それに伴い整理式も数多く提唱されている。物性値の変化も単調であることから整理式間のまとまりも良い。ただ熱流束が増加するに従って各整理式間の差が大きくなる傾向⁽⁸⁾が見られる。

次に領域⑤について述べる。この領域における熱伝達特性としては擬臨界温度 T_{cr}^* が流体の混合平均温度 T_b と壁温 T_w との間、すなわち

$$T_b < T_{cr}^* < T_w \quad (3)$$

の条件下で生ずる熱伝達の特異現象および同時に観察される振動現象をあげることができる。まず前者について述べる。 T_b が T_{cr}^* を通過する際、熱伝達率 h は熱流束 q の比較的小さい場合は極大値を示し、逆に q が大きくなると h は極小値を示すようになる。この推移を連続的に示した実験例は LH_2 では発表されていないので、水のデータ⁽⁹⁾で示すと図4のようになる。ロケット燃焼室の場合は q が大きいため特に h の劣化現象に関心を払う必要がある。この時 T_w は鋭いスパイク状の分布を呈するのでサーマルスパイク⁽⁶⁾とも呼ばれている。このような熱伝達の特異性を説明するのに擬似沸騰モデルと单相熱伝達の

変物性モデルの二つの考え方があり。前者はHendricksら⁽⁷⁾が提唱しているもので、気液二相流における流動特性を記述する時に用いられるマルチネリ・ネルソン係数 λ_{tt} を応用した変形 λ_{tt} による整理方式である。しかしこれは取扱いが煩雑でありあまり使われていない。他方変物性モデルによる方式は種々の実験整理式および理論解が提唱されている。しかし理論解は定性的な傾向を説明するにとどまり実用の域に達していない。そのため設計に当っては広範な実験をもとにした実験整理式を使用するのが確実な方法といえる。振動現象については数は少ないが LH_2 による報告がThurstonら⁽¹⁰⁾によりなされている。しかし熱伝達率との関連性についてはふれられてなく、最近他の流体での実験においてこの振動現象の有無が熱伝達率に大きく影響を与えるということが指摘⁽¹¹⁾⁽¹²⁾されており、過去の領域⑤のデータに見られた不一致をこの観点から見直すことも必要と思われる。

3. 実験装置

3.1 LH_2 供給配管系

実験装置の系統図を図5に示す。動作タンク①は常用圧10MPa、容量200l、多層真空断熱構造であり、 LH_2 200l充てん時の蒸発率が8%/day以下である。試験部への LH_2 の供給は GH_2 により加圧して行う。②、③はそれぞれ LH_2 、 GH_2 用タービン流量計である。混合器④において LH_2 、 GH_2 を混合することにより試験部入口温度 T_{in} を任意の温度に設定できる。しかし本実験では冷却剤中にオルソ水素が混入するのを避けるため、この方式による温度調節は行わず、 LH_2 用流量計以降試験部に至る真空断熱配管の真空ジャケットに窒素ガスを流して温度調節を行った。流量調節は遠隔調量弁⑤の開度を調整して行う。⑥～⑦の配管は高速遮断弁⑥と手動調量弁⑦により構成され、ステップ状流量変動を与えるためのバイパス配管である。試験部は真空ベルジャ⑩(直径1m、高さ2m)内に設置され、メカニカルブースタポンプ⑮および油回転ポンプ⑯(2台の連動運転で 10^{-2} torr時、排気能力約17000l/min)により実験時において 10^{-2} torrの真空に保たれる-これにより試験部を真空断熱状態にするとともに、供試体⑨(ステンレス製薄肉管)が破断した場合に備えている。供試体において加熱された GH_2 は一次圧調圧器⑭を経てスタックより大気中に放出される。ここで一次圧調圧器は流量を変えた場合にも出口プレナム圧力を一定に保つ機能を有する。またすべての LH_2 配管は共通のアースを取り静電気の帯電を防止している。

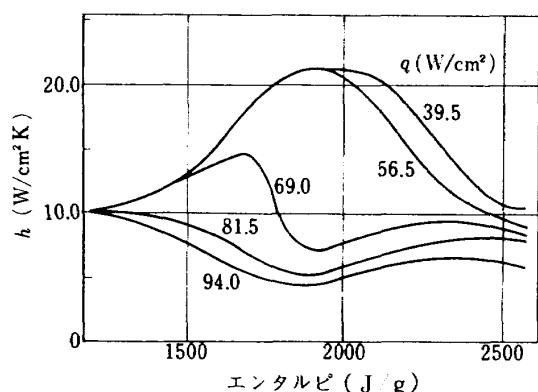


図4 T_{cr}^* 近傍の h の変化(参考文献(9))

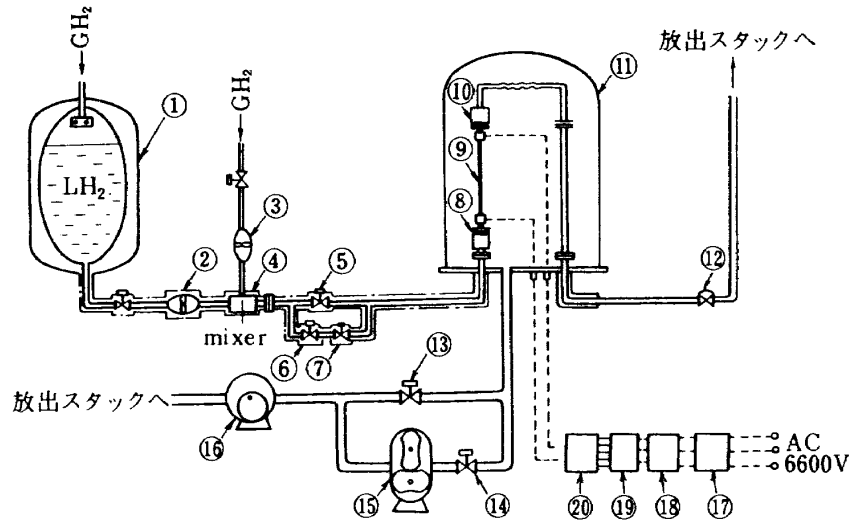


図5 実験装置系統図

3.2 加熱用直流電源

本実験では図5における入口、出口プレナム⑧～⑩間に供試体⑧を装着し、直流を印加してジュール加熱することにより再生冷却燃焼室壁の熱的条件を模擬した。加熱用電源としては交流、直流の両者が考えられるが、計測時のノイズ対策、近臨界領域の振動現象解明のため直流方式を採った。

直流電源装置は真空遮断器⑰（遮断時間は約40msec以下）、誘導電圧調整器⑱（一次電圧6600V、二次電圧max13200V）、ダウントランス⑲（一次電圧13200V、二次電圧81.5V）、シリコン整流器⑳により構成される。最大定格100V、3300A、リップル率±1%以下である。

3.3 試験部

試験部の詳細を図6に示す。図7にはその写真を示す。LH₂は入口プレナム内の多孔板①により混合され、白金測温抵抗体②により混合平均入口温度 T_{in} を、また歪ゲージ式圧力計により入口プレナム圧力を測定する。他に圧力測定箇所は供試体入口、出口圧力、出口プレナム圧力の3ヶ所である。

LH₂供給配管と加熱用電源との電気絶縁のため、フランジ部ボルトにはテフロン製ガイドリング④を使用し、フランジ面には金メッキ金属Oリング⑤およびマイラシート（肉厚100μ）⑥を併用した。出口プレナムの構造も入口プレナムとほぼ同一である。試験部中で最もリークの多い箇所がこのシール部であるが、先に述べたように真空排気装置の運転時に、真空ベルジヤ内の真空度が 10^{-2} torr を保持でき実験目的上支障はない。供試体⑧とプレナムとの結合は袋ナット継手⑦により行う。⑧

と外部電極の間は網銅線により接続され、出口プレナムと下流配管はフレキシブルホース⑨により接続され⑧には外力が極力かからない構造になっている。また加熱に伴う⑧の熱膨張はスプリング⑩により吸収される。

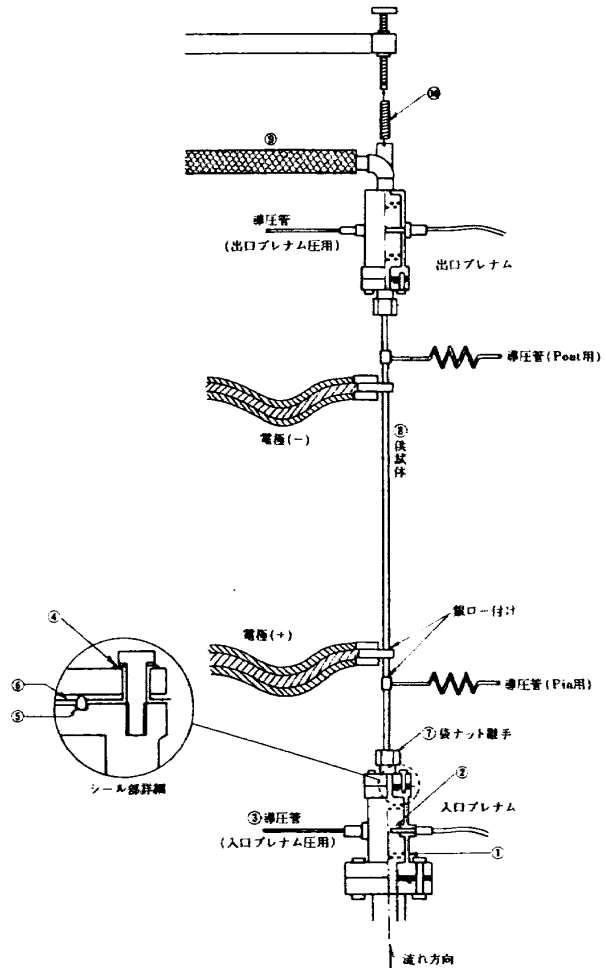


図6 試験部詳細図

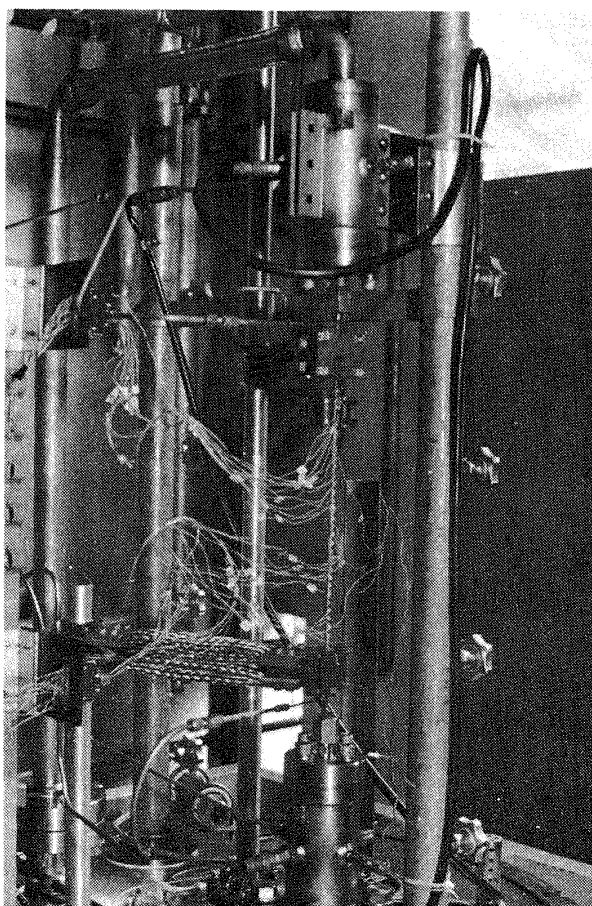


図7 試験装置写真

3.4 供試体

供試体の選定に当っては、現実の再生冷却燃焼器における冷却ジャケットの熱的条件にできるだけ合致するよう配慮した。実際の冷却ジャケットは内径が軸方向に一樣ではなく、管の途中が絞られているいわゆるダブルテーパ管により構成されている。そのような形状に見合うよう公称内径4mm, 3mm, 2mmの3種類の直管を供試体として計画し、現在までに内径4mm, 3mmによる実験を行った。さらに供試体長さの影響を調べるために加熱長 L と内径 D_i の比が公称 $L/D_i=80, 100, 250$ とした。内径 3ϕ については表面粗さの影響を検討するため内面が比較的滑らかな管(以後準滑面管と称する)と比較的粗い管(以後粗面管と称する)の2種類の供試体を製作した。表1には各供試体の諸元を示す。TP002が粗面管, TP003, 004が準滑面管である。材質はいずれもSUS304である。図8には供試体の表面状態を示す写真を、図9には表面粗さ計による記録を示す。表1に示した中心線平均粗さ ϵ_a は式(4)により定義される量で、表面粗さ計の記録結果より求めたものである。

$$\epsilon_a = \frac{1}{L} \int_0^L h(x) dx \quad (4)$$

ここに L は計測長さ、 $h(x)$ は粗さ分布である。

図10には供試体の詳細を示す。壁温測定用熱電対は素線径 100μ のクロメル-コンスタンタンを壁面にスポット溶接したのを用い、加熱部全長にわたりほぼ等間隔に配置した。1対の熱電対の溶接部における軸方向素線間距離がゼロでないために、供試体に直流を印加した際に生ずる誤差の処理については付録1を参照して欲しい。区間電圧を測定するための電圧リード線(線径 200μ のコンスタンタン線)もスポット溶接により、加熱部全長にわたりほぼ等間隔に最大10点配置した。

表1 供試体諸元

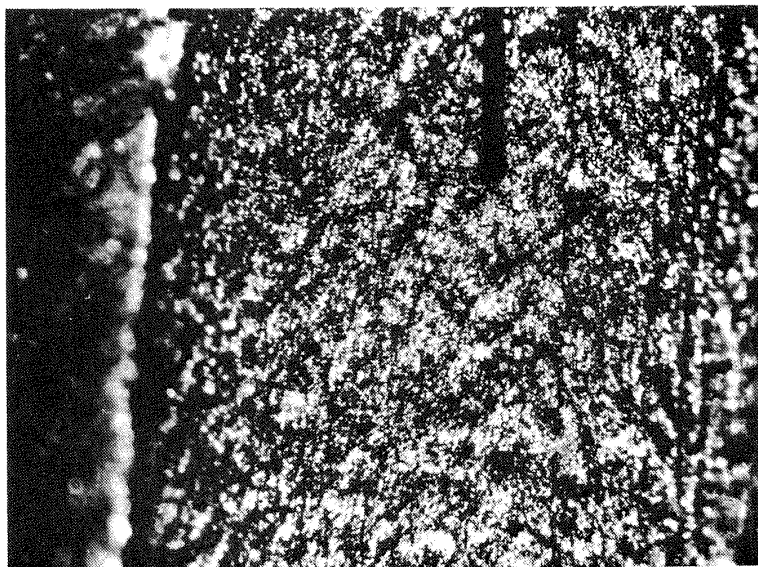
寸法 TP-No	D_o mm	D_i mm	L_{in} mm	L_{pin} mm	L_h mm	L_{pout} mm	L_{out} mm	ϵ_a μ
TP-002	5.0	3.2	95.	60.	320.	65.	95.	4.20
TP-003	4.5	4.0	96.	62.	320.	59.	94.	0.55
TP-004	3.8	3.0	152.	37.	750.	34.	74.	0.24

3.5 計測制御装置

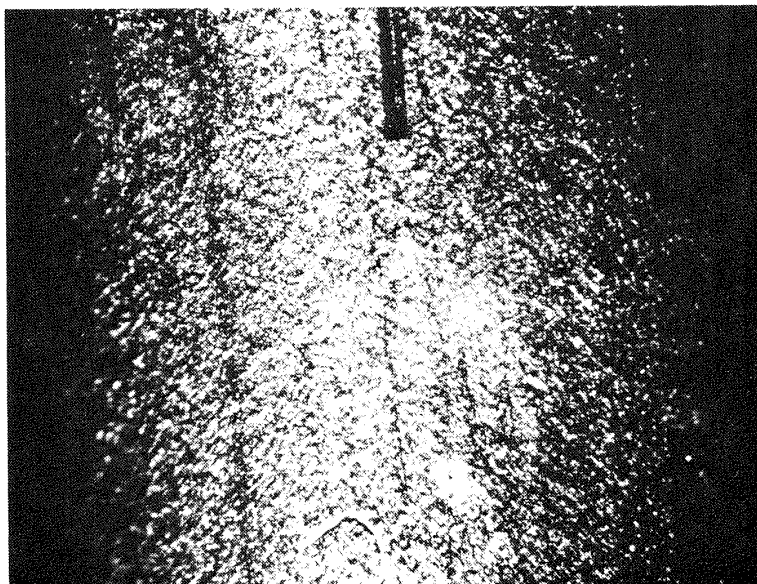
計測システムのブロックダイアグラムを図11に示す。全物理量は1チャンネル当り100サンプル/秒の速度でAD変換され磁気テープに記録される。同時に主要な物理量のうち、高速現象のものに関しては電磁オシロにより、低速現象のものは自動平衡式記録計により記録した。また主要な物理量は実験終了後直ちにタイプライタにより打ち出される。

次に制御装置について述べる。以下の監視項目がそれぞれの許容設定値を超えた場合、非常停止信号を出力し、それにより全実験装置は安全かつ瞬時に自動停止する。LH₂供給系は約0.2秒、加熱用電源は約0.04秒で遮断される。監視項目としては供試体壁温30点、動作タンク圧力、試験部入口圧力、真空ベルジヤ内真空度、動作タンク内LH₂レベル各1点等である。また供試体表面温度 T_0 30点は図12に示す多点温度監視装置に表示される。本装置は T_0 の計測用信号を分岐し、マルチプレクサを介してブラウン管上に2.4~50msの掃引速度で表示するものである。本実験で発生したサーマルスパイクの挙動を観察するには4.2msの掃引速度が最適であった。

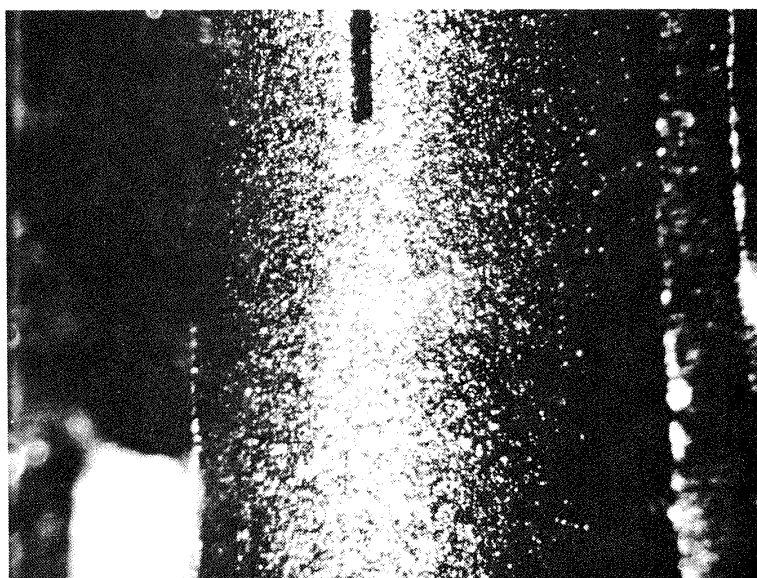
TP-002



TP-003



TP-004

図8 各供試体の表面状態（上部に見えるのは参考のため挿入した径 100μ の細線）

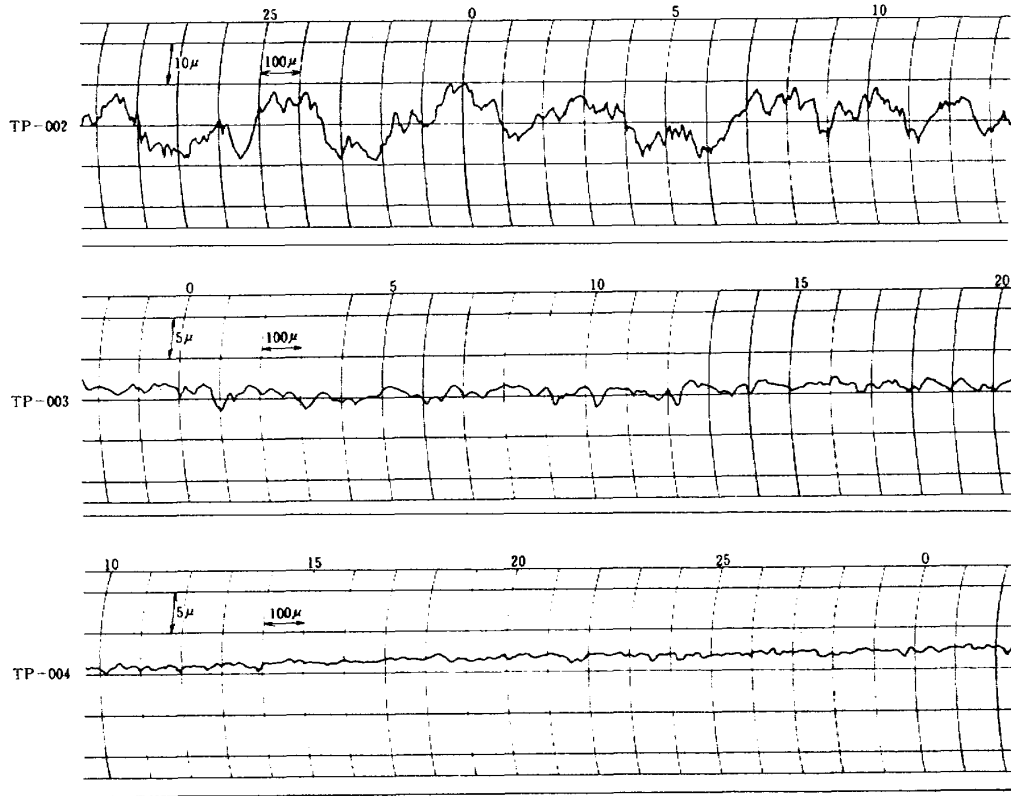


図9 各供試体の表面粗さ

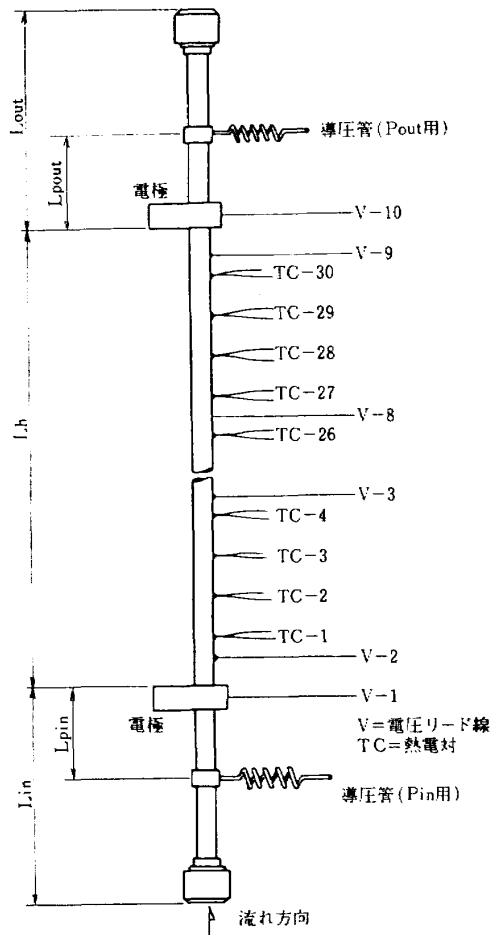


図10 供試体詳細図

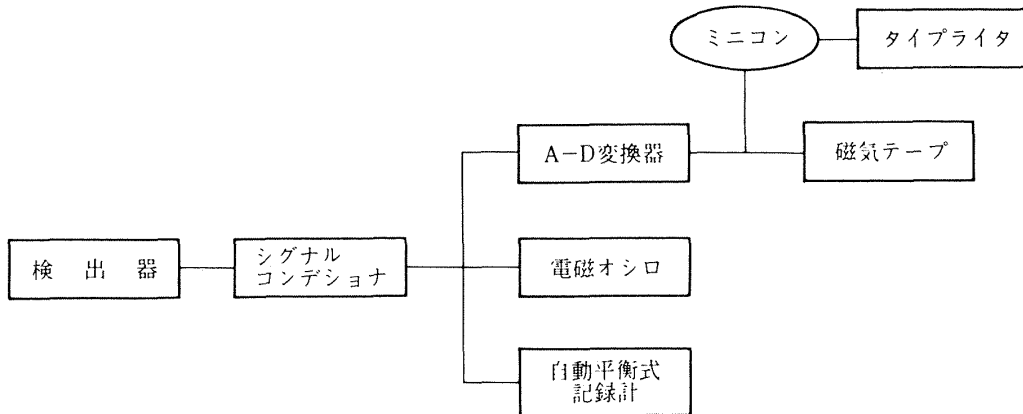


図 11 計測装置ブロックダイアグラム

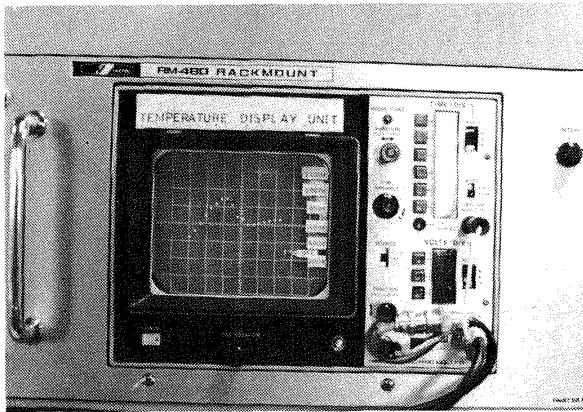


図 12 多点温度監視装置

4. 実 験

4.1 液体窒素による流動特性試験

非加熱時における供試体の流動特性（レイノルズ数 R_e に対する管摩擦係数 f の相関）を知っておくことは加熱時の流動特性および熱伝達特性を論ずる上で極めて重要なことである。特に供試体として実機の冷却通路に近い小口径の円管を用いた場合には表面粗さの影響が無視できない。この点に関する情報が従来発表されているLH₂のデータのほとんど全てについて欠けている。

以上のような観点から、LH₂による加熱実験に先立ち、加熱時の R_e の範囲に相当する領域で流動特性試験を行った。なお使用流体は取扱いが容易であること、価格が低廉であることなどから液体窒素(LN₂)を用いた。実験結果を図13に示す。ここで管摩擦係数 f は以下のようにして求めた。

$$f = \Delta P_f / \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho_m U_m^2}{2} \quad (5)$$

ここで ΔP_f は供試体入口、出口に設けた圧力タップ間の摩擦損で次式によって表わされる。

$$\Delta P_f = (P_{in} - P_{out}) - \dot{G}^2 \left(\frac{1}{\rho_{out}} - \frac{1}{\rho_{in}} \right) - \Delta P_h \quad (6)$$

ここで $\dot{G} = \rho U$ （質量速度）である。

上式において右辺第1項は静圧差、第2項は加速損、第3項はヘッド差である。入口、出口の温度差が2.5K以内と微小であるため、 ρ_m 、 U_m を含む全ての物理量は $\frac{T_{in} + T_{out}}{2}$ 、 $\frac{P_{in} + P_{out}}{2}$ で評価した。また第2、3項は本実験では微小であり無視した。図中には参考のために滑面管でのNikuradseの式(7)による計算値を実線で、実用管でのColebrook-Whiteの式(8)による計算値を破線で示す。

Nikuradse の式

$$f_{s,i} = 0.0032 + 0.221 R_e^{-0.237} \quad (7)$$

Colebrook-White の式

$$1/\sqrt{f_{r,i}} = -2 \log \left[\frac{2.51}{R_e \sqrt{f_{r,i}}} + \frac{\epsilon_s}{3.71 D_i} \right] \quad (8)$$

ここで $f_{s,i}$ 、 $f_{r,i}$ は非加熱時の滑面管、粗面管での管摩擦係数、 ϵ_s は等価砂粒粗さ、 D_i は管内径である。

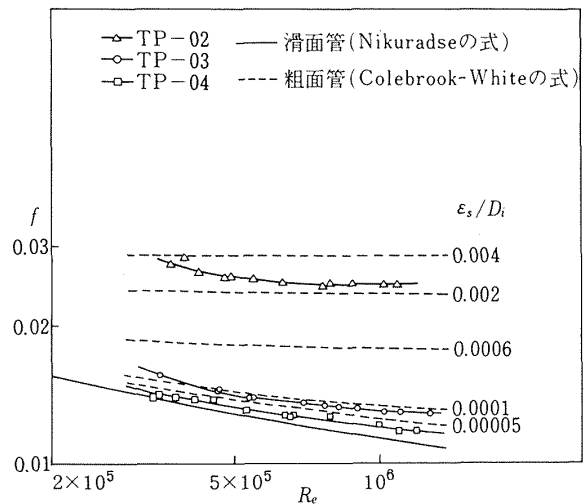


図 13 供試体の LN₂ による流動特性

4.2 実験方法

① 実験に先立ち動作タンクを含む全供給配管の真空引きを行い，GH₂置換を数回行って後動作タンクにLH₂を充てんした。使用LH₂の純度は99.99%以上，パラ水素濃度は97%以上の値がそれぞれ確保されている。

② タービン流量計のオーバスピンを避けるため，動作タンクを低圧で加圧し，調量弁を微開にして徐々に予冷を行った。入口プレナムが30Kになった時点で予冷を終了する。予冷から実験停止までの経過を図14に示す。

③ 一次調圧器を所定の値に設定した後，動作タンクを加圧，遠隔調量弁を徐開にし流量W，試験部出口圧P_{out}を実験条件に合わせる。次に加熱用電源を印加し電圧を除々に上昇させる。電圧の上昇とともに供試体中での流動抵抗が増しWが低下するので，再度遠隔調量弁を調整してWを実験条件に合わせる。この間，前述のブラウン管に表示された壁温分布を監視しながら調整を行う。

④ 実験条件が十分に安定したのを電磁オシロ，自動平衡式記録計をしてブラウン管により確認してから約5秒の間にわたりデータを取得する。

⑤ データ取得後，再度電圧を上昇させ次の実験条件を設定する。

⑥ 以下④～⑤の手順をLH₂残量がタンク下限レベル(20l残量)を切るまで，もしくは壁温が設定値1200Kに至るまで実験を続ける。

4.3 実験結果

実験範囲の一覧を表2に示す。領域④についての実験は準滑面管(TP003)についてのみ行い，実験の大半は領域⑤について行った。実験データの処理の仕方については付録1を参照して欲しい。次に代表的な実験例を準滑面管(TP003)の場合について述べる。

表2 実験条件一覧表

区分	供試体	粗面管		
	TP-No 物理量	TP002	TP003	TP004
領域④ ($T_{in} > T_{cr}^*$)	T_b (K)	—	47.4~133	—
	P (MPa)	—	1.3~4.5	—
	G (g/s)	—	13.5~14.6	—
	q (W/cm ²)	—	196~439	—
	$\theta = T_w/T_b$	—	2.1~5.5	—
領域⑤ ($T_{in} \leq T_{cr}^*$)	T_b (K)	27.4~139	26.3~134	34.0~289
	P (MPa)	3.0~7.8	2.2~6.0	4.5~5.4
	G (g/s)	17.8~39.7	16.1~72.3	6.4~17.6
	q (W/cm ²)	690~1770	151~1360	132~366
	$\theta = T_w/T_b$	1.9~15.6	2.1~19.3	1.4~9.8

4.3.1 領域④における実験結果

(1) 低熱流束の場合(図15)

全長にわたり内壁温度 T_w ，熱流束 q ，熱伝達率 h の分布が一様である。液の混合平均温度 T_b の上昇とはほぼ平行して T_w が上昇し，結果として一定の h 分布を与えている。

(2) 高熱流束の場合(図16)

T_w のピークが $40D_i$ ($T_b=95K$)近傍に見られ， h も同位置で極小値を呈している。また T_w が高温になるため，供試体の電気抵抗が局所的に増加し q も他の部分より増加しているのがわかる。ただこの場合の T_w のピークは後に示す領域⑤におけるサーマルスパイクとは異なり，特定の T_b において発生するものではなく，発熱体上流における入口効果の影響と，下流での T_b 上昇にともなう q の増加による熱伝達率向上の中間にあって，供試体中央

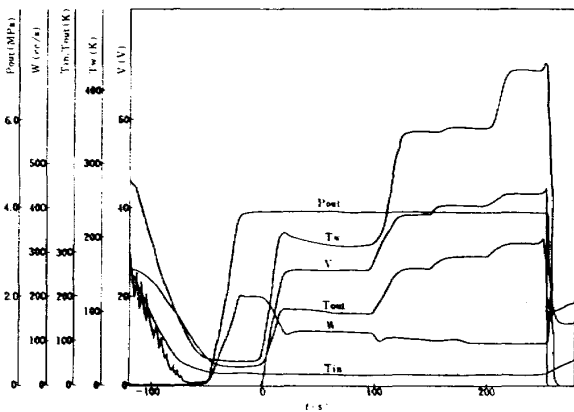


図14 実験のタイムシーケンス

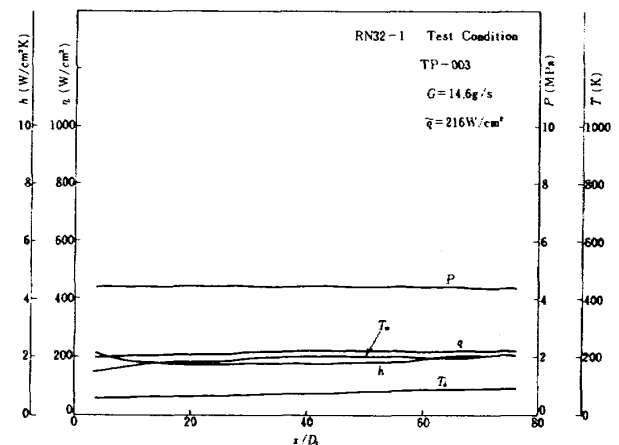


図15 領域④，低熱流束実験結果

部の h が相対的に低下するための現象である。この T_w のピークは後述するように既存の整理式によりほぼ説明がつく。

4.3.2 領域④における実験結果

(1) 低熱流束の場合 (図17)

なだらかなサーマルスパイクが約 $20D_i$ 付近に観察される。ピークの位置は $T_{cr}^* = 37K$ よりやや低温の $35K$ で発生している。同じ位置で h は極小値を示している。

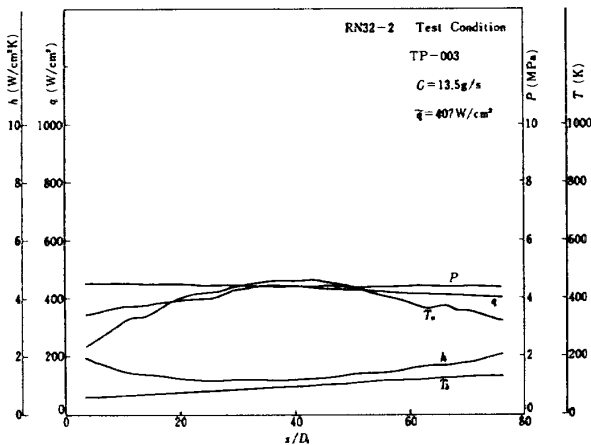


図 16 領域④, 高熱流束実験結果

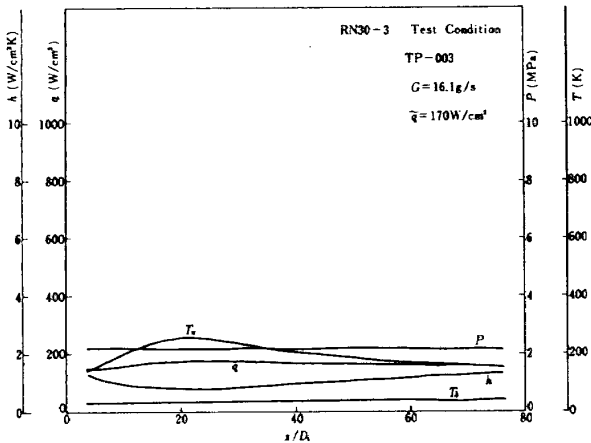


図 17 領域④, 低熱流束実験結果

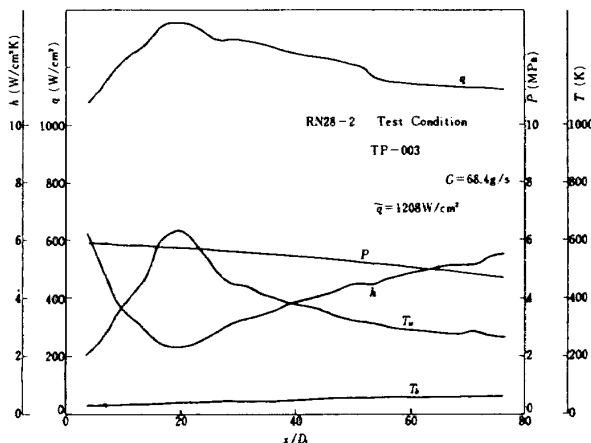


図 18 領域④, 高熱流束実験結果

(2) 高熱流束の場合 (図18)

これは RN30-3 より流量および q を増加させた実験である。ピークの位置は $T_b = 40K$ ($T_{cr}^* = 45K$) である。サーマルスパイク部の h の劣化が著しい。

5. 実験結果の検討

5.1 圧力損失について

5.1.1 既存の圧損整理式

冷却通路の圧力損失はエンジンシステム全体の設計に大きな影響を及ぼす。また LH_2 の場合物性値の圧力依存性が大きいので、熱設計における圧力損失の正確な評価が極めて重要になる。

加熱管での単位長さ当りの圧力損失 ΔP は次式のように表わされる。

$$\Delta P = \Delta P_m + \Delta P_f + \Delta P_h \quad (9)$$

右辺第 1 項は加速損失, 第 2 項は摩擦損失, 第 3 項はヘッド差である。第 3 項は気体の場合は無視される。第 1 項は計算により一義的に求まるが, 第 2 項の摩擦損失については管路形状, 流れの状態, 加熱の有無等により大きく異なり, 現在までに多くの研究が行われているがまだ確定的なものがない。特に領域④については不明な点が多い。ここでは流れの大部分が T_{cr}^* 以上であることから管路全体が領域④とみなして検討を進める。

滑面管における非加熱時の管摩擦係数 $f_{s,i}$ は先述の Nikuradse の式により表わされる。しかし加熱時には境界層内での温度分布が物性値に与える影響が無視できなくなり, $f_{s,i}$ に対する変物性の補正が必要になる。この

表 3 圧損整理式

Petkhov の式⁽¹³⁾

$$f_{s,n} = f_{s,i} \theta^n; \quad (10)$$

$$n = -0.6 + 5.6 R_{ew}^{-0.38}, \quad \theta = (T_w/T_b)$$

Taylor の式⁽¹⁴⁾

$$f_{s,n} = (0.0056 + 0.5 R_{ew}^{-0.32}) \theta^{-0.5} \quad (11)$$

Kutateladze-Leontiev の式⁽¹³⁾

$$f_{s,n} = f_{s,i} \left(\frac{2}{\sqrt{\theta} + 1} \right)^2 \quad (12)$$

Perkins-Wörsoe Schmidt の式⁽¹⁵⁾

$$f_{s,n} = (0.0032 + 0.221 R_{ew}^{-0.257}) \left(\frac{2}{\sqrt{\theta} + 1} \right)^2 \quad (13)$$

注. $f_{s,i}$ は Nikuradse の式(7)を使う。 R_{ew} においては T_w で物性値を評価する。 T_b で評価する。

変物性の効果は結果的に非加熱時よりも摩擦損失を減少させるように働く。表3には滑面管における加熱時摩擦係数 $f_{s,n}$ を規定する代表的な整理式を示す。式(10), (12)は理論解析より求めたもの、式(11), (13)は実験整理式である。各式の間には変物性に対する評価に大きな差異が見られ、その様子を $f_{s,n}/f_{s,i}$ と $\theta = T_w/T_b$ の相関で図19に示す。 θ が大きくなると各式間の差は大きくなり、 $\theta = 20$ では約3倍もの違いがでる。実験値との比較には以下の理由により理論式として式(10)、実験式として式(11)を用いた。すなわち式(10)は変物性効果が R_e の関数で与えられており、物理的に妥当であると考えられること、式(11)は LH_2 のデータをもとに導出された式であることによる。

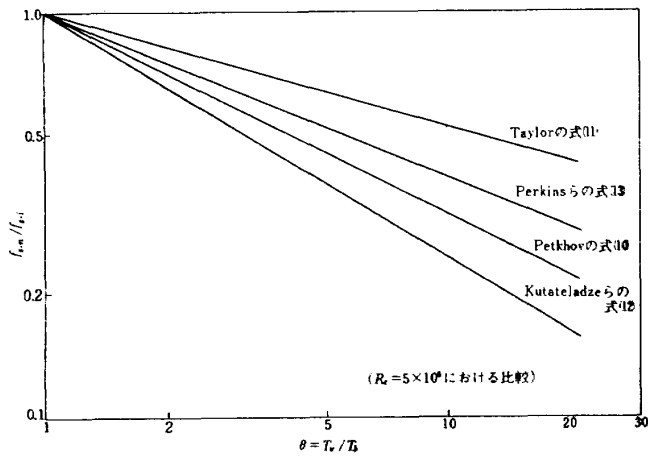


図19 $f_{s,n}/f_{s,i}$ と θ の相関

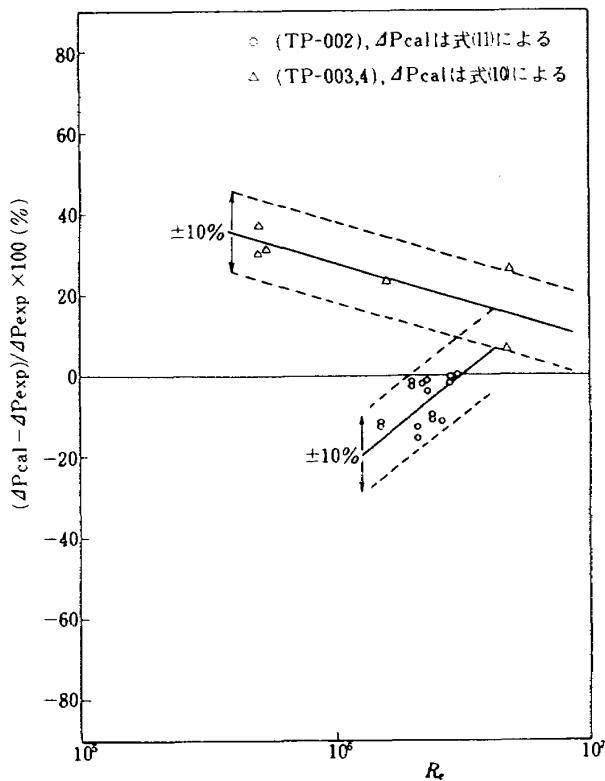


図20 $(\Delta P_{cal} - \Delta P_{exp}) / \Delta P_{exp}$ と R_e の相関

5.1.2 実験結果と整理式との比較

実際の圧力損失の計算に際しては、4.1に述べたように各供試体固有の表面粗さの影響を考慮し、次式により加熱時の摩擦係数 $f_{r,n}$ を求めた。

$$f_{r,n} = f_{s,n} \psi (= f_{s,n} f_{r,i} / f_{s,i}) \quad (14)$$

ここで ψ は非加熱時の供試体と滑面管の摩擦係数の比で図13に示したように R_e の関数で与えられる。このようにして求めた加熱部全長の摩擦損失 ΔP_f の計算値と実験値との比 $(\Delta P_{cal} - \Delta P_{exp}) / \Delta P_{exp}$ と R_e の関連を図20に示す。実験に用いた圧力検出器の精度を考慮し

$\Delta P_{exp} \geq 0.1 \text{ Mpa}$ のデータのみについて示した。図からは粗面管および準滑面管では $(\Delta P_{cal} - \Delta P_{exp}) / \Delta P_{exp}$ が

$\log R_e$ に対して正、負の勾配を有するのがわかるが、データ数が少ないこと、および各実験点における θ の値が正確に決定できないことなどから、 R_e の相関についてはふれず ΔP_{cal} と ΔP_{exp} の概略の比較のみを行う。

準滑面管 (TP003, 004) については式(10)による計算値 ΔP_{cal} の方が実験値 ΔP_{exp} より5~40%ほど大きい。式(11)の場合は図19からもわかるように、さらにその差が大きくなるのでここでは示していない。このことは $f_{s,n}$ に用いた式(10)の変物性効果がまだ小さいのか、もしくは加熱時では非加熱時ほど粗さの影響が大きくないことを意味するものと思われる。

粗面管 (TP002) については逆に式(11)による計算値 ΔP_{cal} が ΔP_{exp} より0~15%ほど小さい値を与えている。式(10)による計算値はさらに小さくなるので図には示していない。

以上の準滑面管、粗面管における比較の結果から次のことが考えられる。式(11)は整理に用いたデータの大部分が $\theta < 4$ のものであり、本実験のような高熱流束 (θ の最大値が20) 時での適用には問題がある。むしろ高熱流束時では式(10)による変物性の評価が適当であり、 ψ 自体も変物性効果により多少減少すると解釈すれば実験との対応も良い。変物性効果の少ない式(11)が粗面管で比較的良好一致を見たのも、実際には変物性効果により減少した ψ と真の値より大きめの $f_{s,n}$ を与える式(10)とが相殺した結果と考えられる。このような特性は液体酸素を用いた粗面管の実験⁽¹⁶⁾ においても報告されており、実用管における圧損評価の上で重要な知見である。

以上の議論では領域⑥については報告も少なく検討を加えなかったが、最近粗面管を用いた水の実験で、Krasyakovaら⁽¹⁷⁾ は T_{cr}^* 近傍で $f_{r,n}$ が著しく低下すると報告している。 LH_2 でも同じような現象の起ることが予想され今後の研究が待たれる。

5.2 既存の熱伝達整理式

5.2.1 直管の熱伝達整理式

直管における熱伝達率 h は一般に次式により算出される。

$$h_{cal} = \frac{\lambda}{D_i} N_{u,s} \cdot \varphi_{ent} \cdot \varphi_r \quad (15)$$

ここに $N_{u,s}$ は滑面管において入口より充分離れた場所における局所ヌセルト数, φ_{ent} は温度助走区間内では $N_{u,s}$ よりも h が増加することに対する補正因子, φ_r は表面粗さにより, h が増加することに対する補正因子である。LH₂ における直管の熱伝達整理式 ($N_{u,s}$) は領域④, ⑥共にコルバン型の無次元整理式が基本になっており, 物性値を評価する参考温度 T_r をどう定義するかで次の3種類に分けられる。

- ① バルク型 $T_r = T_b$
 - ② フィルム型 $T_r = T_f (= \frac{T_b + T_w}{2})$
 - ③ 積分型 任意の物性値 x を次式により評価するもの
- $$\tilde{x} = \frac{1}{T_w - T_b} \int_{T_b}^{T_w} x dT \quad (16)$$

表4 熱伝達整理式

(a) 領域④における整理式	
McCarthy-Wolf の式 ⁽¹⁸⁾	
$N_{u,s} = 0.025 R_{eb}^{0.5} P_{rb}^{0.4} \theta^{-0.55}$	(17)
Taylor の式 ⁽¹⁹⁾	
$N_{u,s} = 0.023 R_{eb}^{0.5} P_{rb}^{0.4} \theta^{-0.57}$	(18)
Hendricks の式 ⁽²⁰⁾	
$N_{u,s} = 0.021 R_{ef}^{0.8} P_{rf}^{0.4}$	(19)
(b) 領域⑥における整理式	
Taylor の式, Hendricks の式は(a)と同一式	
Reon (B)式 ⁽²¹⁾	
$N_{u,s} = 0.0217 R_{eb}^{0.5} P_{rb}^{0.4} \theta^{-0.54}$	(20)
Hess-Kunz の式 ⁽²²⁾	
$N_{u,s} = 0.0208 R_{ef}^{0.8} P_{rf}^{0.4} \{ 1 + 0.0145 (\nu_w / \nu_b) \}$	(21)
変形 Hess-Kunz の式 ⁽⁸⁾	
$N_{u,s} = C_L \times \text{式(21)}$	(22)
Schacht-Quentmeyer の式 ⁽²³⁾	
$N_{u,s} = 0.023 \tilde{R}_e^{0.5} \tilde{P}_r^{0.4}$	(23)

領域④, ⑥における整理式を表4に示す。Taylor の式, Hendricks の式は領域④, ⑥にわたり適用可能とされているので(a), (b)いずれにも示した。ここで特記すべきことはこれらの整理式導入に用いられた実験の供試体形状である。Reon (B)式においては $D_i = 3.86 \text{ mm}$, $L/D_i = 41$ の供試体を使用されている。このことは次の2つの理由で高めの h_{cal} を与えることになる。すなわち内径がこのように小さい場合, 市販の円管内面の表面粗さは無視できず, 式(8)における相対粗さ ϵ_s/D_i の値が大きくなり ψ が増加し, ひいては5.2.3に示すごとく h を増加させることになる。次に全発熱長が $41 D_i$ と極めて短いため, ほぼ全域にわたり入口効果による h の増加があると考えられる。このような問題点は他の整理式にも多かれ少なかれ含まれており, 各整理式間の不一致の要因の一つになっているものと思われる。

Schacht-Quentmeyerの式⁽²³⁾は積分型でありLH₂冷却エンジンの冷却流路の熱設計用として提案された式であるが, この式が直管における熱伝達整理式として妥当なものであるかどうかはまだ確認されていない。

5.2.2 入口補正因子

LH₂ における入口補正因子としては領域④に適用できる Taylor の式しか見当たらない。

Taylor の式⁽¹⁹⁾

$$\varphi_{ent} = \theta^{1.50} / (z/D_i) \quad (24)$$

参考までに式⁽²⁴⁾と Boelter らが行った空気における実験結果⁽²⁴⁾との比較を図21に示す。式⁽²⁴⁾の方が絶対量自体も大きく, しかもはるかに下流まで持続することがわかる。これはLH₂を高熱流束で加熱した場合, 急激な物性値変化により発達した速度分布そのものが乱れ, その影響が十分下流まで及ぶものと考えられる。

しかしこの式⁽²⁴⁾でも, Taylor 自身が領域⑥では適用できないとしている。本報告では領域⑥に適用できる既

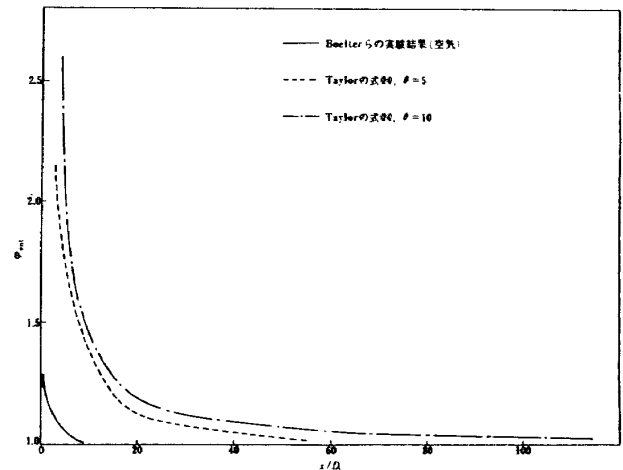


図21 φ_{ent} の特性

存式がないので、あえて式(24)を領域⑧においても採用する。さらに米国のAerojet社グループがHess-Kunzの式(21)の領域⑧における不具合をなくするために導入した温度補正係数 $C_L(T_b)$ は入口補正因子の性格が強いため φ_{ent} として採用した。表5に C_L を示す。

表5 C_L の温度変化

$T_b(^{\circ}\text{R})$	50	55	60	65	70	75	80	85
C_L	2.0	1.73	1.48	1.26	1.07	0.93	0.87	0.85

5.2.3 粗さ補正因子

衆知のごとく表面粗さと熱伝達率 h との関連は極めて複雑であり、かつ重要な問題である。これまでにLH₂以外の流体については、自然粗面(砂状粗面も含む)、人工粗面の両者について多くの研究がなされている。本実験では市販の円管を用い粗さの度合を変えて h に及ぼす影響について検討を加えた。比較に用いた粗さ補正因子 φ_r を表6に示す。いずれも定物性の境界層方程式をレイノルズアナログのもとで解いて得られた理論式もしくは半理論式であり、自然粗面に適用できるものである。ただ本実験のように高熱流束の実験条件下で適用するにはいささか問題があると思われるが、変物性条件のもとで得られた φ_r は見当らないのであえて比較式として採用した。なおNunnerの式以外は原式に多少の変更を加えている。

すなわちMartinelliの原式は粗面管におけるヌセルト数 $N_{u,r}$ を次式で与えている。

表6 粗さ補正因子

<p>Martinelliの式(25)</p> $\varphi_r = \frac{P_r + l_n(1+5P_r) + 0.5l_n \left(\frac{R_e \sqrt{f_{r,i}}}{8} \right)}{P_r + l_n(1+5P_r) + 0.5l_n \left(\frac{R_e \sqrt{f_{s,i}}}{8} \right)} \sqrt{\psi} \quad (25)$
<p>Nunnerの式(26)</p> $\varphi_r = \frac{1 + 1.5P_r^{-1/8} R_e^{-1/8} (P_r - 1)}{1 + 1.5P_r^{-1/8} R_e^{-1/8} (P_r \psi - 1)} \psi \quad (26)$
<p>Dipprey-Saberskyの式(27)</p> $\varphi_r = \frac{P_r^{0.33} \psi}{1 + \sqrt{f_{r,i}}/8 \{ 5.19(R_e \sqrt{f_{r,i}}/8 \cdot \epsilon_s/D_i)^{0.2} P_r^{0.44} - 8.48 \}} \quad (27)$

$$N_{u,r} = \frac{R_e P_r \sqrt{\frac{f_{r,i}}{8}} \left(\frac{T_w - T_c}{T_w - T_b} \right)}{5 \left[P_r + l_n(1+5P_r) + 0.5F \cdot l_n \left(\frac{R_e \sqrt{f_{r,i}}/8}{60} \right) \right]} \quad (28)$$

ただし T_c は管中心温度、 $F = \frac{\epsilon_h}{\epsilon_h + \kappa}$ (ϵ_h はうず温度伝導率)である。

この式より φ_r を求めると次のようになる。

$$\varphi_r = \frac{N_{u,r}}{N_{u,s}} = \frac{P_r + l_n(1+5P_r) + 0.5F l_n \left(\frac{R_e \sqrt{f_{r,i}}/8}{60} \right)}{P_r + l_n(1+5P_r) + 0.5F l_n \left(\frac{R_e \sqrt{f_{s,i}}/8}{60} \right)} \cdot \sqrt{\psi} \quad (29)$$

次に本実験における R_e が 10^6 程度と大きいので、 $F = 1$ とおき式(29)を得た。

Dipprey-Saberskyの式の原式は次式で与えられている。

$$N_{u,r} = \frac{R_e \cdot P_r \cdot f_{r,i}/8}{1 + \sqrt{f_{r,i}}/8 \{ 5.19 [R_e \sqrt{f_{r,i}}/8 \cdot \epsilon_s/D]^{0.2} P_r^{0.44} - 8.48 \}} \quad (30)$$

この式からは

$$N_{u,s} = \lim_{\epsilon_s \rightarrow 0} N_{u,r}$$

としての $N_{u,s}$ は定義できない。そこでDipprey-Saberskyの論文中的図5から

$$N_{u,s} = \frac{1}{8} f_{s,i} R_e P_r^{0.67} \quad (31)$$

を読取って、式(27)を得た。式中の ϵ_s としてはColebrook-Whiteの式で示される等価砂状粗さ ϵ_s の式

$$\epsilon_s = 3.71 D_i \left(10^{-\frac{1}{2\sqrt{f_{r,i}}} - \frac{2.5}{R_e \sqrt{f_{r,i}}}} \right) \quad (32)$$

に実測の $f_{r,i}$ を代入して得られた値を使った。

5.3 実験結果と整理式との比較

以下に4.3に示した準滑面管(TP-003)での代表的データを中心に既存式との対応を試みる。比較結果は縦軸 h_{exp}/h_{cal} 、横軸 x/D_i で示す。 h_{exp} は本実験における熱伝達率、 h_{cal} は式(15)に各整理式を代入して得られた計算値であり、この熱伝達率比 h_{exp}/h_{cal} が小さいということは h_{cal} が大きめの計算値を与えることであり、その整理式が熱設計上危険であることを表わして

いる。また、 h_{exp}/h_{cal} が大きい場合は逆に安全であることを意味する。

5.3.1 領域④における比較

(1) 低熱流束の場合 (図22, 23)

図22における h_{cal} には φ_{ent} , φ_r のいずれも考慮されていない。 h_{exp}/h_{cal} が全長にわたり1より大きいこと、および入口付近で特に大きめになっていることはそれぞれ φ_r , φ_{ent} の効果のためである。ただ φ_{ent} については図15からもわかるように $\theta = T_w/T_b$ が小さいためそれほど大きく表われてはいない。 $N_{u,s}$ としては領域④における3式を用いてある。

図23には各整理式 $N_{u,s}$ に φ_{ent} として Taylor の式(24),

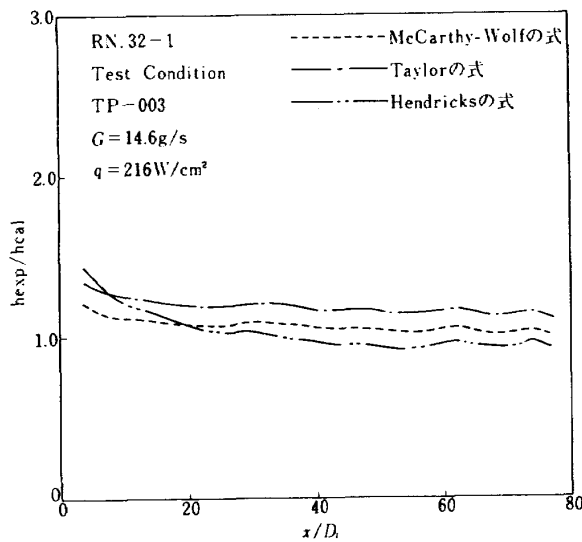


図22 領域④, 低熱流束時の比較結果 (φ_{ent} ・ φ_r 補正なし)

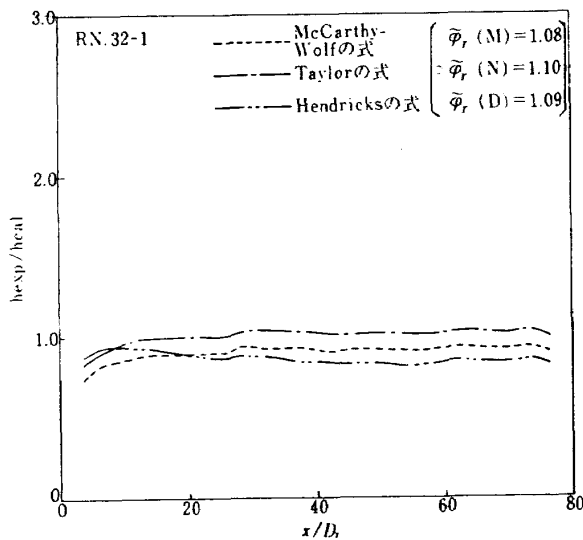


図23 領域④, 低熱流束時の比較結果 (φ_{ent} ・ φ_r 補正あり)

φ_r として Nunner の式(20)を用いて補正を行った結果を示す。図中には参考のために Martinelli の式, Nunner の式, Dipprey-Sabersky の式による全長平均値をそれぞれ $\tilde{\varphi}_r(M)$, $\tilde{\varphi}_r(N)$, $\tilde{\varphi}_r(D)$ で示す。図では $\tilde{\varphi}_r(N)$ (○印) による補正結果を示したが3式ともほぼ同一の結果を与える。以後計算に用いた表面粗さ補正式には○印を記す。

(2) 高熱流束の場合 (図24)

h_{cal} としては各 $N_{u,s}$ 式に φ_{ent} =式(24), φ_r =式(27)による補正を施したのものを使った。 $N_{u,s}$ としては Taylor の式が最も良い推定値を与えている。一方, フィルム型の Hendricks の式は約10%高めめの h_{cal} を与えている。図23, 24を通じて領域④については以下のことが言える。

$N_{u,s}$ としては Taylor の式(18), φ_{ent} としては式(24)が良く適合しており, φ_r としては3式とも大差はないが, ただ熱流束の増大とともに φ_r の効果が減少 (図23における $\tilde{\varphi}_r=1.10$ から図24における $\tilde{\varphi}_r=1.06$ へと減少) している傾向が見られる。

5.3.2 領域⑤における比較

(1) 低熱束の場合 (図25, 26)

図25には h_{exp} と領域⑤における各 $N_{u,s}$ 式との比較を示す。ここでは φ_{ent} , φ_r の補正はされていない。領域④における図22と比べると入口効果ははるかに大きい。またバルク型の式とフィルム型の式の関係が逆転し, バルク型の式 (Taylor の式および Reon (B) 式) が大きめの計算値を与えている。次に $N_{u,s}$ 式に φ_{ent} =式(24), φ_r =式(27)を補正した結果を図26に示す。この図から $N_{u,s}$ として変形 Hess-Kunz の式および Hendricks の式以外は高めの推定値を与え設計式としては危険であることがわかる。特に Reon(B) 式の場合が著しい。これは 5.2.1 で述べたよ

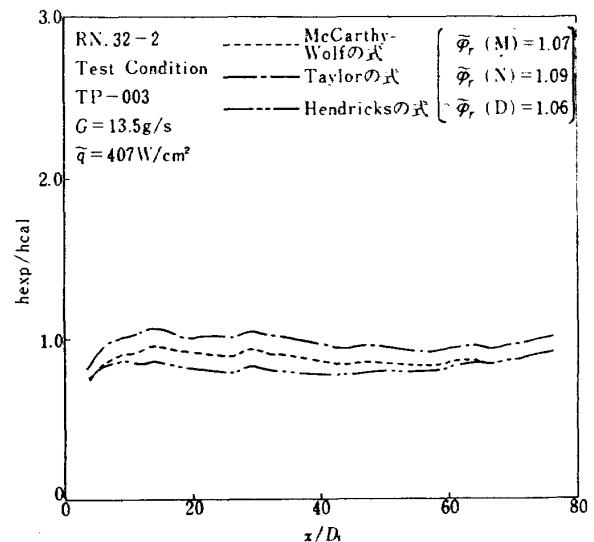


図24 領域④, 高熱流束時の比較結果

うに Reon(B)式導入のもとになった実験データに問題があるためである。また積分型の Schacht-Quentmeyer の式も全長にわたり比較的良い一様性を示してはいるが実験値より20%以上も高い計算値を与えており今後改良の余地がある。このような傾向は他のデータについても言えるので以後比較式としては Hendricks の式、変形 Hess-Kunz の式およびバルク型の代表として Taylor の式を用いる。次に φ_{ent} については式(24)および C_L いずれよりも実験値の方が大きく領域④での入口効果の大きいことがわかる。また φ_r については他の2式よりはるかに大きい値を与えている Dipprey-Sabersky の式により良い一致を見ていることは、領域④の低熱流束条件下では

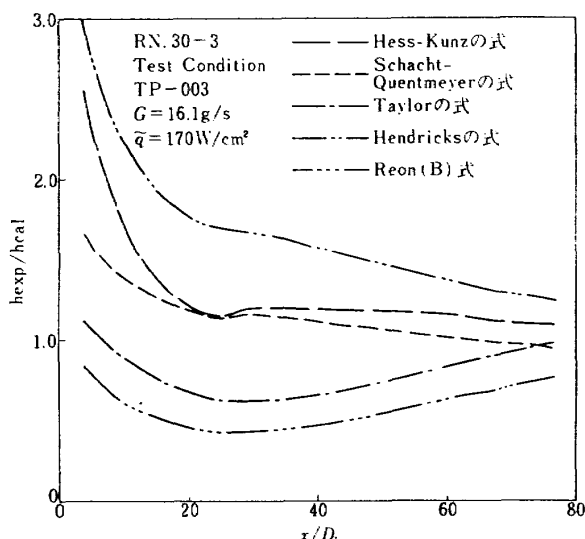


図 25 領域④, 低熱流束時の比較結果 ($\varphi_{ent} \cdot \varphi_r$ 補正なし)

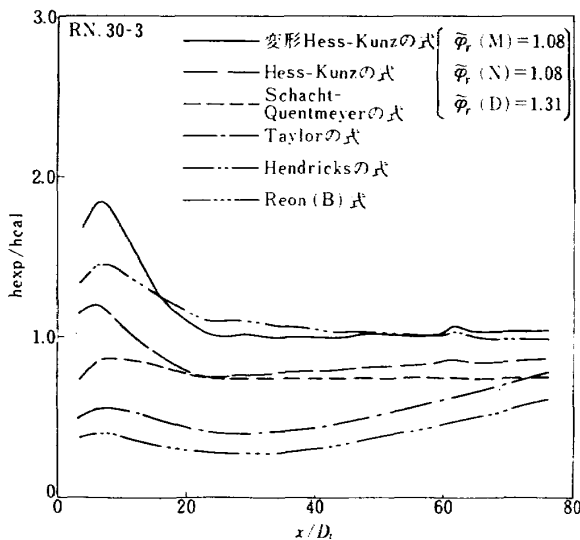


図 26 領域④, 低熱流束時の比較結果 ($\varphi_{ent} \cdot \varphi_r$ 補正あり)

粗さ効果が大きいことを意味している。

(2) 高熱流束の場合 (図27)

RN.28-2の実験結果と、 $N_{u,s}$ に φ_{ent} として式(24), φ_r として式(25)の補正を施した計算値との比較を図27に示す。図26と比べて入口近傍の h_{exp}/h_{cal} の増加量は小さくなっている。 φ_r についても3式中最も小さい値を与える Martinelli の式が比較的良い一致を見ている。 $N_{u,s}$ としては Hendricks の式が他の2式より良い結果を与えている。

図26, 27を通じて領域④については次のことが言える。 $N_{u,s}$ としては領域④で良い一致を見たバルク型の式は設計上危険となり、フィルム型の式とりわけ Hendricks の式が有効となる。 φ_{ent} については低熱流束下では Taylor の式(24)よりも大きな入口効果が現われるが高熱流束下ではその効果が減少してきて式(24)によりほぼ推定できる。粗さの効果については熱流束の増加とともに減少してきて、 $\theta \approx 10$ 程度では Martinelli の式による補正で良い一致を見ることが出来る。

(3) 粗面管の場合 (図28)

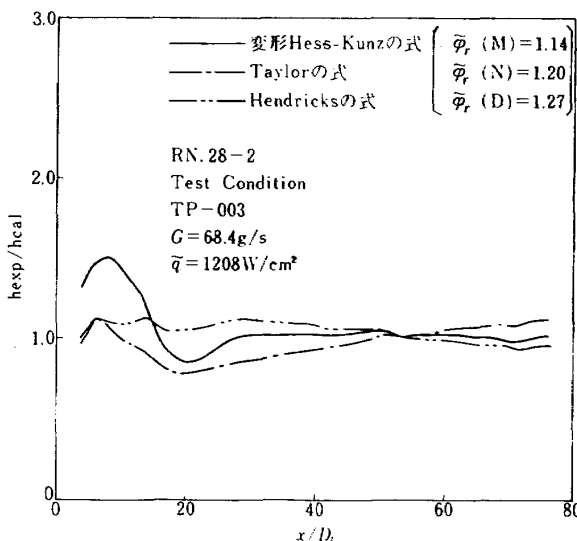


図 27 領域④, 高熱流束時の比較結果

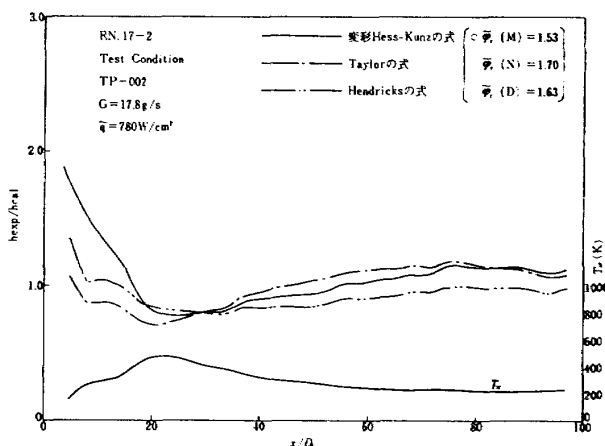


図 28 粗面管における比較結果

RN.17-2の粗面管における実験結果と各整理式による計算値の比較を図28に示す。ここでは上述の結論をふまえて ϕ_r としてはMartinelliの式(25)を採用した。 ϕ_{ent} としてはTaylorの式(24)を用いた。図中には T_w 分布も併記する。出口付近ではどの $N_{u,s}$ も $h_{exp}/h_{cal} \approx 1$ を与えるが、サーマルスパイク付近では $h_{exp}/h_{cal} = 0.75 \sim 0.8$ を与える。このことはサーマルスパイク付近、すなわち T_{cr}^* 近傍では非加熱時における $\psi = f_{r,i}/f_{s,i}$ の関係がそのまま適用できず、粗さの効果はより小さく評価しなければならないことを意味している。以上の仮定は5.1.2でふれた T_{cr}^* 近傍での $f_{r,n}$ の減少特性とも符合し、非常に興味ある問題を提起している。

(4) 特に熱伝達率が向上する場合(図29)

これまでの比較結果が示すように、大部分のデータについては h_{exp}/h_{cal} が1もしくはそれより小さい値を与えている。しかし一部のデータに h_{exp}/h_{cal} が局所的に異常に高い値を示す場合があったのでその例を図29に示す。 h_{exp} は波状の分布を示している。粗面管であるので前述のようにサーマルスパイク部での h_{exp}/h_{cal} の落ち込みが見られる。しかし $x/D_i = 80$ 近傍の h_{exp} の向上は他のデータでは見られない現象である。このように h が波状の分布を示しその絶対量が向上する場合には、他の流体を用いた実験⁽¹¹⁾⁽¹²⁾によれば、RN.18-6においては激しい圧力振動が起きている可能性がある。この種のデータは他のデータと厳密に区別されなければならないが、残念ながら本実験では圧力振動を測定していないので、詳細な議論はできない。

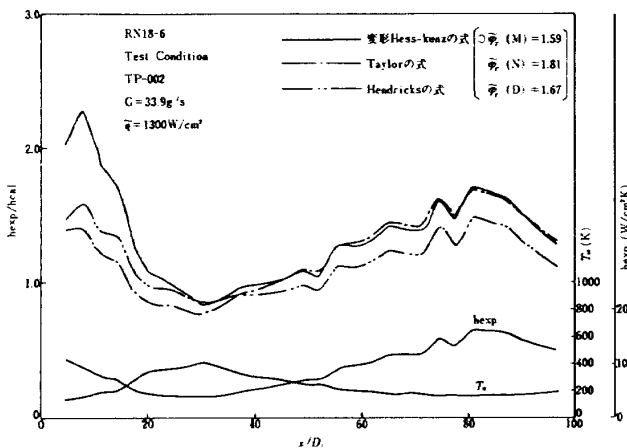


図29 h_{exp} が特に向上した場合の比較結果

6. 結 論

(1) 圧損整理式については、準滑面管ではTaylorの式(10)、粗面管ではTaylorの式(11)が実験値と比較的良好一致を示したが、単一の式で幅広い表面状態に適応させるには ψ の変物性効果を明らかにする必要がある。特に T_{cr}^* 近傍の ψ の変物性効果は熱伝達率との関連で重要である。

(2) $N_{u,s}$ としては、領域Aではバルク型特にTaylorの式(18)、領域Bについてはフィルム型とりわけHendricksの式(19)が良好であった。また積分型のSchacht-Quentmeyerの式(23)は T_{cr}^* の上流、下流にわたり一様な h_{exp}/h_{cal} を与えており、今後改良を加えれば有効な整理式となりうる。

(3) ϕ_{ent} についてはTaylorの式(24)が領域Aについては良好な結果を与えた。しかし領域Bについては変物性効果の評価が適当でなく、広い θ 範囲で適用できる整理式が望まれる。

(4) ϕ_r については、領域Aでは提示した3式とも大差はなかった。しかし領域Bでは熱流束の大小、粗さの大小で適用できる式が変わり、広範な実験条件に適合できる単一式はなかった。低熱流束の時はDipprey-Saberskyの式(27)、高熱流束の時はMartinelliの式(25)と2つの式を使い分ける必要がある。しかし粗さが大きい場合の T_{cr}^* 近傍での不一致は大きく、 ψ の変物性効果を考慮する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 新野, ほか3名, 第21回宇宙科学技術連合講演会講演集, (昭52-10), 206.
- 2) 新野, ほか4名, 推進系シンポジウム講演集, (昭52-12), 13.
- 3) 新野, ほか4名, 第22回宇宙科学技術連合講演会講演集, (昭53-10), 240.
- 4) 新野, ほか2名, 日機誌, 81巻, 720号(昭53-11), 59.
- 5) H. Barrow and W. D. Morris; Progress in Heat & Mass Transfer, 1 (1969), 1, Pergamon Press.
- 6) R. C. Hendricks ほか2名; NASA TN D-5886, (1970-11).
- 7) R. C. Hendricks ほか3名; NASA TN D-3095, (1966-3).
- 8) Aerojet-General Corp., Rep. No. RN-S-0274, (1966-4).
- 9) M. A. Styrikovich ほか2名; Teploenergetika,

- 14-6 (1967), 4.
- 10) R. S. Thurston ほか 2 名; *Advances in Cryogenic Engineering*, 12, (1967), 438.
- 11) E. Stewart ほか 2 名; *Int. J. Heat & Mass Transfer*, 16-2 (1973-2), 257.
- 12) L. L. Kafengauz; *Heat Transfer Soviet Research*, 8-4 (1976-7), 144.
- 13) B. S. Petukhov; *Prog. Heat & Mass Transfer*, 6 (1970), 503.
- 14) Taylor and F. Maynard; *Int. J. Heat & Mass Transfer*, 10-8 (1967), 1123.
- 15) H. L. Perkins and P. Worsoe-Schmidt; *ibid.*, 8 (1965), 1011.
- 16) V. N. Bogin and B. V. Dzyubenko; *Fluid Mechanics Soviet Research*, 3-6 (1974-12), 22.
- 17) L. Yu. Krasnyakova ほか 2 名; *Teploenergetika*, 20-4 (1973), 45.
- 18) J. R. McCarthy and H. Wolf; RR 60-12 (1960-12), Rocketdyne Div., North American Aviation Inc.
- 19) Taylor and F. Maynard; NASA TN D-4332, (1968-1).
- 20) R. C. Hendricks ほか 2 名; NASA TN D-2977, (1965-9).
- 21) W. H. Thompson and E. L. Geery; *Advances in Cryogenic Engineering*, 7 (1961), 391.
- 22) H. L. Hess and H. R. Kunz; *J. Heat & Mass Transfer*, 87-1 (1965), 41.
- 23) R. L. Schacht and R. J. Quentmeter; NASA TN D-7207, (1973-3).
- 24) M. K. Boelter ほか 2 名; NACA TN 1451, (1948-7).
- 25) R. C. Martielli; *Trans. ASME*, 69, (1947), 947.
- 26) W. Nunner; *VDI-Forsch.* 455, B 22-5, (1956).
- 27) D. F. Dipprey and R. H. Sabersky; *Int. J. Heat & Mass Transf.*, 6 (1962), 329.
- 28) R. C. Hendricks ほか 2 名; NASA TN D-7808, (1975-2).
- 29) R. C. Hendricks ほか 2 名; NASA TN D-765, (1961-5).

付録 1. データ処理と誤差について

1.1 データ処理

実験においては以下の項目について計測専用ミニコン (FACOM U-200) により MT に収録する。

温度	壁温測定用 (熱電対)	30ch
	液温測定用 (測温抵抗体)	3ch
圧力	LH ₂ 配管系静圧測定用 (歪ゲージ式)	5ch
流量	LH ₂ 流量 (タービン式流量計)	1ch
電圧	供試体区間電圧	max.10ch
電流	供試体電流	1ch

収録したデータのうち、十分に熱的に定常に達した 5 秒間の平均値について物理量に換算する (この結果を一次処理データと称する)。以下に、この一次処理データをもとにして物理量 (熱流束, 熱伝達率等) および無次元量を算出するデータ処理方法について記す。なお、計測システムの詳細については別途報告する予定である。

1.1.1 データ処理の概要

一次処理データは図 A-1 に示すフローチャートに従って角田支所計算センターに設置された計算機 (TOSBAC-3400) により処理される。計算手順の概略としては、

- ① 一次処理データを読み込み、最初に重量流量を求める。さらに負荷熱量と、入口および出口プレナムにおける圧力、温度より求められるエンタルピの増加量との比較から、誤差が ± 5 % 以上のものは除外する。
- ② 外壁温度、電圧、電流より熱流束、内壁温度を求める。
- ③ 入口圧力タップより加熱開始点までの圧力損失を表面粗さを考慮して求める。
- ④ 加熱区間の熱電対間ごとに微小区間に分割する。
- ⑤ 分割された微小区間 Δx について、圧力損失および温度上昇を計算する。これを加熱区間全体にわたって繰り返す。
- ⑥ 各熱電対取付位置ごとに熱伝達率、諸物性値を求める。
- ⑦ 加熱終了点より出口圧力タップまでの圧力損失を求める。
- ⑧ 各種無次元量を求め、既存の式と比較する。
- ⑨ 結果を印字するとともに、無次元整理式の導出のために MT にも収録する。

以上の結果を二次処理データと称し、その一覧を付録 2 に示す。以下、主要な物理量の算出方法について詳述する。

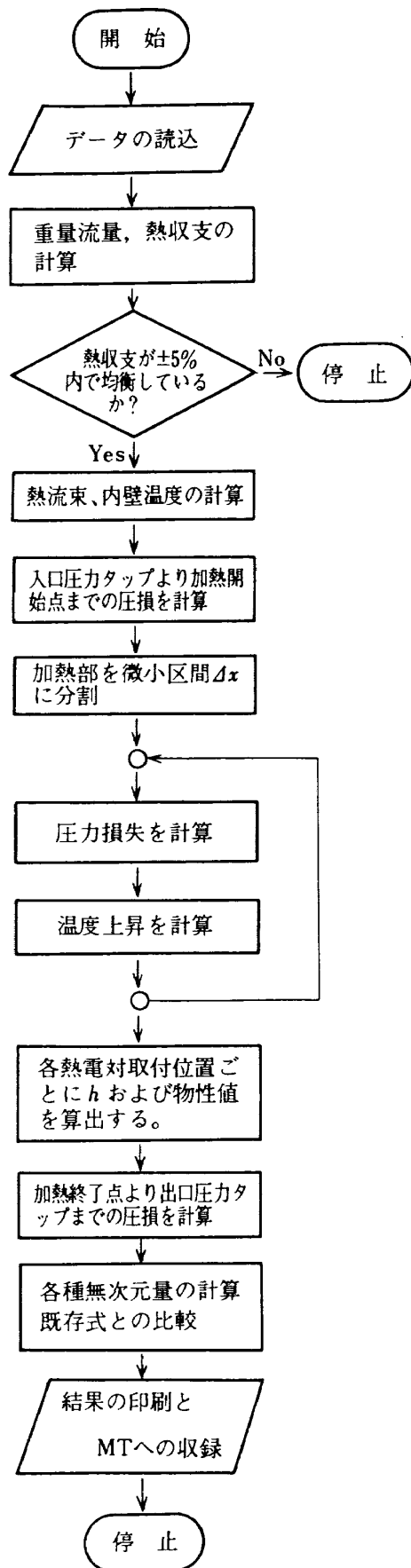


図 A-1 二次処理データ算出用フローチャート

1.1.2 内壁温度および熱流束の算出

熱伝達率を決定する因子のうち、熱流束および内壁温度は以下の仮定のもとに熱伝導方程式より求める。

仮定① 真空雰囲気中 (10^{-2} torr) に供試体が設けられているので、供試体を外部断熱発熱管とする。すなわち、残ガスによる自然対流、分子熱伝導、およびふく射、素線・電極による熱伝導の影響は無視する。

② 供試体は均質な円管であり、温度、圧力による変形は無視する。

③ 半径および周方向について一様発熱とする。

④ 軸方向については、比抵抗の温度変化のみを考慮する。ただし、両電極より 1 cm の区間については電極への熱伝導および銀ローの付着等による影響が考えられるので計算処理は行わない。

一様発熱体に対する定常熱伝導方程式は、

$$\lambda_m \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\lambda_m}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial \lambda_m}{\partial T} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 + \dot{Q} = 0 \quad \dots\dots (A-1)$$

\dot{Q} : 単位体積当りの発熱量

λ_m : 発熱体の熱伝導率

円管の場合について、 $r = \frac{D_i}{2}$, $T = T_w$; $r = \frac{D_0}{2}$, $T = T_0$ の条件のもとに積分し、

$$\int_{T_w}^{T_0} \lambda_m dT = \int_{T_{st}}^{T_0} \lambda_m dT - \int_{T_{st}}^{T_w} \lambda_m dT = \frac{Q_{in}}{2\pi \Delta x} \left(\frac{1}{2} - \frac{D_0^2}{D_0^2 - D_i^2} \ln \frac{D_0}{D_i} \right) \quad \dots\dots (A-2)$$

Q_{in} : Δx における発熱量

T_{st} : 任意の参照温度

このとき、内壁面における局所熱流束 q_x は、

$$q_x = Q_{in} / A_x = V_x I / \pi D_i \cdot \Delta x = I^2 R_x / \pi D_i \cdot \Delta x \quad \dots\dots (A-3)$$

A_x : Δx における内面積

V_x : Δx における電圧

I : 電流

R_x : Δx における抵抗

から求められる。ところで R_x は温度の関数であり、局所の温度場を求めた後に決定されるものである。そこで、この抵抗値の温度補正を行うために以下の方法を用いている。最初に電圧測定区間 L における実測の抵抗値 $R_{L,exp}$ を基に R_x の仮の値を与え、(A-3) 式より発熱量を求める。これを (A-2) 式に代入して、温度と熱伝導率の関係より T_w を決定する。さらにこの温度場より比抵

抗 ρ_Q の分布を既存の関係式,

$$\rho_Q = \rho_Q(T) \dots\dots\dots (A-4)$$

を用いて求め、区間 L における抵抗値 $R_{L,cal}$ を計算する。

$$R_{L,cal} = \Sigma \tilde{\rho}_Q \Delta x / \pi (D_0^2 - D_i^2) \dots\dots\dots (A-5)$$

これは本来実測値と一致するはずであるが、種々の誤差等により多少異なった値をとる。そこで、この差が零、すなわち、熱収支が合うように比抵抗の補正式 ρ'_Q を定める。

$$\rho'_Q = \rho_Q + \rho_{Q_0} \dots\dots\dots (A-4)'$$

$$\text{ただし、} \rho_{Q_0} = (R_{L,exp} - R_{L,cal}) \frac{\pi}{4} (D_0^2 - D_i^2) / L$$

そして、真の局所熱流束を

$$q_x = 4 I^2 \tilde{\rho}'_Q / \pi^2 D_i (D_0^2 - D_i^2) \dots\dots\dots (A-3)'$$

より求め、 T_w も (A-2) 式より決定する。

1.1.3 LH₂ の諸物理量の算出

次に、LH₂ の局所における圧力および温度を求める。

ここでは流れは一次元と考え、流速は (A-6) 式による。

$$U \equiv \dot{G} / \rho (P, T_b) \dots\dots\dots (A-6)$$

ただし、 T_b は LH₂ の混合平均温度をとる。

壁面せん断応力 τ_w と運動量の変化より、図 A-2 のモデルから区間 (x_j, x_{j+1}) において

$$\begin{aligned} & \Delta P_{j,j+1} \cdot \pi D_i^2 / 4 + \Delta x_{j,j+1} \tau_w \pi D_i \\ & = -\dot{G} \Delta U_{j,j+1} \pi D_i^2 / 4 \\ \therefore & \Delta P_{j,j+1} + \dot{G} \Delta U_{j,j+1} + \tau_w \frac{4 \cdot \Delta x_{j,j+1}}{D_i} = 0 \end{aligned} \dots\dots\dots (A-7)$$

ここで τ_w は

$$\begin{aligned} \tau_w &= f_f \cdot \frac{1}{2} \rho_m U_m^2 \\ &= f_f \cdot \frac{1}{2} \dot{G}^2 / \rho_m \\ &= f_D \cdot \dot{G}^2 / 8 \rho_m \dots\dots\dots (A-8) \end{aligned}$$

ただし、 $\rho_m = (\rho_j + \rho_{j+1}) / 2$

f_f : フォーニング係数

f_D : ダルシー係数 ($f_D = 4 f_f$)

f_D の値としては、滑面の式

Blasius の式

$$f_D = 0.3164 R_e^{-0.25} \quad R_{eb} < 10^5$$

Nikuradse の式

$$f_D = 0.0032 + 0.221 R_e^{-0.237} \quad R_{eb} \geq 10^5 \dots\dots\dots (A-9)$$

に、LN₂ の非加熱流し試験の結果および変物性効果を考慮して (本文参照のこと)、補正後使用した。

さらに、 x_{j+1} の位置における温度 $T_{b,j+1}$ は、エネルギー方程式から、摩擦による発熱等を無視して、

$$\begin{aligned} \Delta H_{j,j+1} &= \left\{ H(P_{j+1}, T_{b,j+1}) + \frac{1}{2} U_{j+1}^2 \right\} \\ &\quad - \left\{ H(P_j, T_{b,j}) + \frac{1}{2} U_j^2 \right\} \\ &= \bar{q}_{j,j+1} \cdot \pi D_i \Delta x_{j,j+1} / G \dots\dots\dots (A-10) \end{aligned}$$

ただし、 H : エンタルピー

より得られる。(A-8) 式における ρ_m は (A-10) 式で $T_{b,j+1}$ を決定しなければ得られない。そこで、一区間上流側の (x_{j-1}, x_j) における圧力勾配 $(dP/dx)_{j-1,j}$ から、 P_{j+1} を、さらに $\Delta H_{j,j+1}$ から $T_{b,j+1}$ を仮定し、得られた結果に補正を加える逐次近似法によった。

以上より、圧力、温度の分布を求め、さらに 1.1.2 の

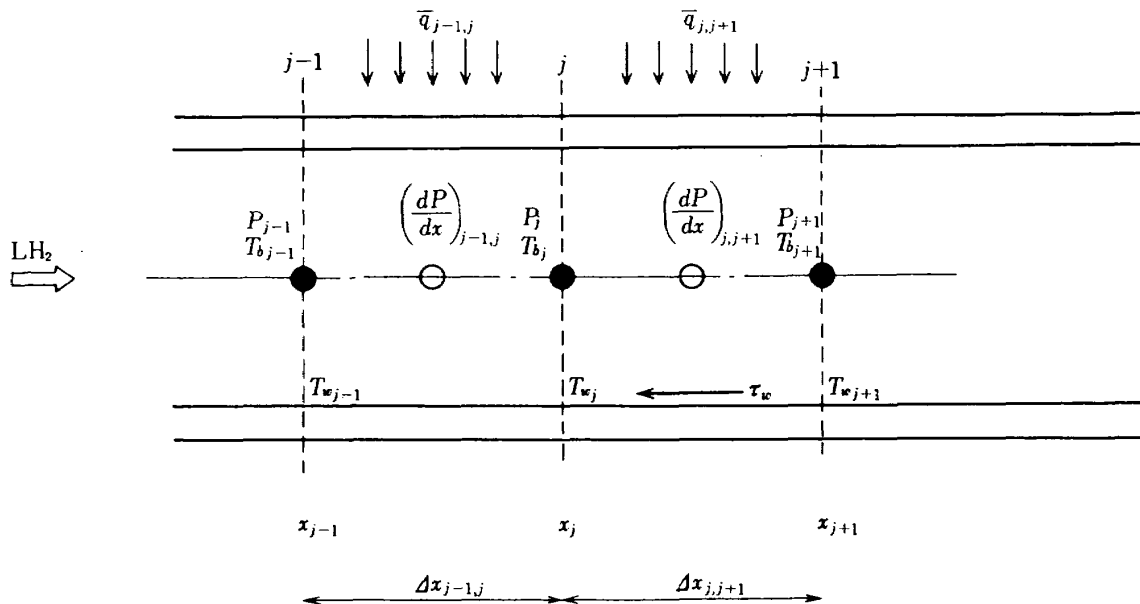


図 A-2 微小区間 Δx における圧力、温度変化

結果と合わせて、熱伝達率、諸物性値、各種無次元量を求める。なお、これらの計算には p-H₂100%として、物性値算出プログラム“GASP”⁽²⁸⁾を使用した。

1.2 誤差の評価

データ処理の結果に含まれる誤差として、次の二つが考えられる。

- ① 計測システム上の誤差
- ② データ処理上の誤差

1.2.1 計測システム上の誤差

計測項目のそれぞれについて、測定の内容、較正の方法、誤差等を以下に記す。

① 温度

温度の測定手段としては、供試体の外壁に取付けた壁温測定用熱電対と LH₂温度測定用白金測温抵抗体 (RTB と略す) とに分けられる。

熱電対としては、クロメル-コンスタンタン線 (線径 100μ, テフロン被覆を施した) を使用した。供試体へはスポット溶接した上で、接点を半球状 (半径 1mm 程度) にジルコニアセメントで覆い、補強した。ちなみに、スポット溶接の条件としては、素線間の溶接によりビード (直径約 150μ) を作製する場合、電圧 40V, コンデンサー容量 200μF, ビードと供試体の溶接では 45V, 200 ~ 400μF 程度が適切であった。

ところで、供試体には直流が印加されるため、熱電対取付の際に、供試体軸方向に素線間のずれを生じた場合には、本来の熱起電力 $E_{T.C.}$ の他に取付部のずれに比例した電圧 E_{ER} もを検出することになる。

$$E_{meas.} = E_{T.C.} + E_{ER} \dots\dots\dots (A-11)$$

そして、この E_{ER} の値は、熱電対ごとに、そして印加電圧ごとに異なるため、あらかじめ以下の試験により各熱電対の特性を把握した上で、データ処理の際にこの影響を除去している。すなわち、供試体に低流量の窒素ガスを流した上で、低出力の定電流直流電源にて加熱し、ほぼ 700K に保つ。この状態にて、極性を逆転させ、前後の熱電対の生の出力の差より、単位電圧当りの誤差を求め、この値と本試験時の印加電圧とから、 $E_{T.C.}$ を求める。この関係を図 A-3 に示す。また、この際、700K にて ±10°C 以上の誤差を生ずるものは熱電対自体を付け直しを使用した。

熱電対自体の較正は、液体窒素、水の沸点 (77.4K, 373.2K) および鉛の融点 (600.7K) で行ったが、誤差は ±3°C 以内であった (但し、サンプル抽出によった)。

RTB は、流量計出口部、入口および出口プレナムに取り付け、LH₂ の温度を検出する。較正はメーカーによ

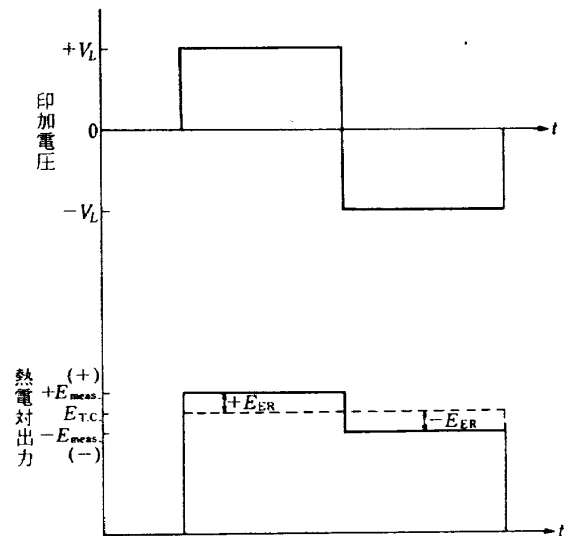


図 A-3 熱電対取付誤差

る他に、氷点、液体窒素温度で行い、その誤差は ±0.4K 以内である。

② 圧力

圧力としては、流量計出口部、入口および出口プレナム、そして入口および出口圧力タップ (供試体非加熱部に取付けた) の計 5 か所を歪ゲージ式圧力計にて検出した。ただし、LH₂ 温度において、直接使用に耐える圧力計がないため、導管にて取出し、常温にて検出する方法を採った。較正は実験前に重錘式圧力較正器を使用して行った。その精度は ±0.5% である。

③ 流量

流量の測定にはタービンフローメーターを用い、実験の範囲に合わせて、最大流量 0.3, 0.5, 1.0 l/sec の 3 台を使い分けている。この種の微小流量計では、LH₂ を用いる場合には特に低密度流体であるところから、検出器の電磁力や軸受による抵抗トルクが問題となる。そこで、この問題を避けるため最大流量の 30~100% の範囲で使用している他に、入口プレナムから入口圧力タップまでの圧力損失や、エンタルピ増加量と負荷熱量の関係からも精度のチェックを行っている。流量換算に際しては、メーカー側の水を用いた較正試験結果に温度補正を施した値を用いている。精度としては 30~100% の流量範囲で、±0.25% 程度である。

④ 電圧および電流

電圧は陰極を基準電位として 10 ch (max.) 計測している。電圧リード線はコンスタンタン線 (線径 200μ) を熱電対と同様の方法にて取付けている。特に、電極取付部では、使用している銀ローの付着等の影響を避けるため、両端より 1cm の位置にもリード線を取付け、熱流

束データの精度の向上を図っている。検出は分圧器を通して行い、精度は±0.2%である。

電流は最大定格電流値が500A, 1500A, 5000Aの分流器を実験範囲に合わせて使い分けており、精度は±0.2%である。

1.2.2 データ処理上の誤差

実験データの処理に当たっては、各種熱損失および侵入に対する補正は行っていない。それは基本的には負荷される熱量が10~50kWというオーダーであり、それら損失量等が、これに比較して微々たるものであると考えられるからである。ここでは、このことに関連して個々の損失量等について検討を加える。

① 素線（熱電対と電圧リード線）による熱損失等

各素線はスポット溶接の上、ジルコニアセメントにより固定されている。従って、定常状態に達した後は、セメント自体の、そして素線自体の接点における温度勾配はほぼ零に等しく、熱損失はほとんどないと思われる。しいて、熱伝導による外部への損失 Q_W を考えれば

$$Q_W = n \cdot \left(\pi \cdot \frac{d_w^2}{4} \right) \cdot \lambda_m \frac{T_0 - T_\infty}{L_w} \quad (A-12)$$

ここで、 n ; 素線数、 d_w ; 素線径、 λ_m ; 素線熱伝導率、 T_∞ ; 周囲温度、 L_w ; 素線長さによってほぼ評価しうる。

② 加熱用電極への熱損失

加熱用電極への熱損失 Q_B は、両端の熱電対の位置から電極への温度勾配により表わされるとすれば、ほぼ

$$Q_B = \frac{1}{4} \pi (D_o^2 - D_i^2) \times 2 \times \lambda_m \times \frac{T_0 - T_{bin}}{L_{TC}} \quad (A-13)$$

ここで、 λ_m ; 供試体熱伝導率、 L_{TC} ; 両端の熱電対より電極への距離によって評価しうる。

③ ふく射による熱損失

供試体は磨かれたステンレス製の真空ベルジャに囲まれており、その大きさははるかに小さい。それ故完全包囲灰色面と考えて、その熱の移動量 Q_R は、

$$Q_R = \sigma A_o \phi_{HC} (T_o^4 - T_\infty^4) \dots \dots \dots (A-14)$$

ただし、 $\frac{1}{\phi_{HC}} = \frac{1}{\epsilon_o} + \left(\frac{r_o}{r_\infty} \right) \left(\frac{1}{\epsilon_\infty} - 1 \right)$, $T_o > T_\infty$ の場合

ここで、 σ ; ボルツマン定数、 A_o ; 供試体表面積、 ϵ_o ; 同ふく射率、 ϵ_∞ ; 真空ベルジャ-ふく射率、 r_o ; 同半径

あるいは、

$$Q_R = \sigma A_\infty \phi_{HC} (T_\infty^4 - T_o^4) \dots \dots \dots (A-15)$$

ただし、 $\frac{1}{\phi_{HC}} = \frac{1}{\epsilon_o} \frac{r_o}{r_\infty} + \left(\frac{1}{\epsilon_\infty} - 1 \right)$, $T_o < T_\infty$ の場合

によってほぼ評価しうる。①~③の計算例を表A-1に示した。

表A-1 熱損失についての計算例

RUN No	18 - 8	33 - 6
熱 負 荷 Q	53700 W	10300 W
熱 損 失 (1) Q_W	0.006 W	-0.002 W
” (2) Q_B	13.48 W	0.95 W
” (3) Q_R	35.3 W	-25.1 W
$Q_W + Q_B + Q_R = Q_{ER}$	48.786 W	-24.152 W
Q_{ER}/Q	0.09%	-0.23%

※ -の符号は熱侵入を表わす。

④ パラ・オルソ変換の影響

実験に使用したLH₂は97%以上のp-H₂濃度のものであり、物性的にはほぼ100%のp-H₂として取扱っても問題はない(例、エンタルピの場合、 $T_b < 300K$ では±0.4%以内である)。むしろ、問題となるのは、供試体中を流れるLH₂が、吸熱反応を伴うパラ・オルソ変換を生ずることであり、これが熱伝達に与える影響である。

ここで従来考えられている変換の機構を列挙すれば

I Homogeneous reaction

- ① 直接変換(300年オーダーの反応)
- ② 分子相互の衝突(半減期3年)
- ③ 原子相互の衝突(ここでは問題にならない)

II Heterogeneous reaction

- ① 常磁性体による反応(LH₂の不純物に常磁性体の不純物が含まれていた場合)
- ② 触媒反応(ニッケル、タングステン等の触媒による反応。供試体のようなステンレス鋼もその性質を持つ。)

がある。これらのうち実質的にはII-②が問題となりうる。吸熱反応(p-H₂ $\xrightarrow{k_1}$ o-H₂)を伴う場合の熱伝達率 $h_{overall}$ は

$$h_{overall} = h_{thermal} \left[1 + \frac{(K_{eq} \sqrt{f_c P_r}) \frac{k_1}{\rho C_p} C_{p-H_2, b} \left(\frac{\Delta H}{\Delta T} \right)}{(1 + K_{eq}) k_1 + h_{thermal} \frac{\sqrt{f_c P_r}}{C_p \rho}} \right]$$

$$= h_{thermal} + R \left(\frac{\Delta H}{\Delta T} \right) \dots \dots \dots (A-16)$$

ここで、 $h_{thermal} = h$, $f_c = D\rho/\mu$, D : 拡散係数

K_{eq} : 平衡定数, k_1 : 反応速度定数,

R : 反応速度

と表わせる。⁽²⁹⁾ 高熱流束域では $T_w > 300\text{K}$ であり, $o\text{-H}_2$ と $p\text{-H}_2$ のエンタルピ差 ΔH もほぼ零に等しく,

$$h_{overall} \approx h_{thermal}$$

と考えられる。また $T_w < 300\text{K}$ では, ΔH が多少大きくなるものの R 自体が $8 \times 10^{-5} \text{g/cm}^2\text{s}$ 程度のオーダーであり, 全重量流量に占める割合も 0.02% オーダーと無視できる。⁽²⁹⁾

以上より, 本実験のように供試体中を高速の LH_2 が流れる場合にはパラ・オルソ変換はほとんど無視しうるものと思われる。ただし, 非常に低流量の領域ではこのパラ・オルソ変換を含んだ熱伝達が問題となる可能性がある。

以上, 主要な誤差について述べてきたが, ここで触れなかったその他の誤差および総合精度等については後日における無次元整理式導出等の段階で改めて述べる予定である。

$$\text{HX-EXP/HX-CAL} \begin{cases} \text{BULK} & h_{exp}/h_{cal} \text{ (18式による)} \\ \text{FILM} & \text{ " (19 ")} \\ \text{INTL} & \text{ " (23 ")} \end{cases}$$

付録 2. 実験結果一覧

本報告の実験結果の一覧を以下に示す。一覧表で用いた記号はつぎの通りである。

MASS FLOW	質量流量	g/s
T-IN	LH_2 入口温度	K
T-OUT	LH_2 出口温度	K
P-IN	供試体入口圧	MPa
P-OUT	供試体出口圧	MPa
HEAT BALANCE		
(負荷熱量 - エンタルピ増加) / 負荷熱量 %		
X/D	加熱開始点よりの無次元距離 x/D_i	
TB	局所混合平均温度	K
TW	" 内壁温度	K
P	" 圧力	MPa
U	" 流速	m/s
Q	" 熱流束	W/cm^2
HX	" 熱伝達率	$\text{W/cm}^2\text{K}$
RE	" レイノルズ数 $\frac{U_b D_i}{\nu_b}$	
PR	" プラントル数 $\frac{\nu_b}{\kappa_b}$	
NU	" ヌセルト数 $\frac{h D_i}{\lambda_b}$	

RUN 12-2

MASS FLOW 39.7 G/S T-IN 29.2 K T-OUT 69.9 K P-IN 6.52 MPA P-OUT 4.28 MPA HEAT BALANCE 0.5 %
HX-EXP / HX-CAL

X/D	TB	TW	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	BUCK	FILM	INTL
4.8	31.8	92.2	6.41	76.3	832.	13.78	0.161E 07	0.906	3648.	3.28	3.56	2.46
7.9	33.7	102.7	6.39	78.8	845.	12.24	0.174E 07	0.958	3333.	2.63	3.03	2.60
11.1	35.3	110.1	6.36	81.4	858.	10.64	0.108E 07	1.003	2982.	2.44	2.90	2.09
14.3	36.9	111.9	6.34	84.2	854.	11.39	0.201E 07	1.043	3289.	2.40	2.98	2.19
17.4	38.3	137.8	6.31	87.1	879.	8.83	0.213E 07	1.081	2630.	1.99	2.58	1.82
20.6	39.7	151.7	6.29	90.3	890.	7.95	0.226E 07	1.117	2443.	1.80	2.37	1.68
23.8	41.0	137.5	6.26	93.7	876.	9.11	0.739E 07	1.151	2886.	1.87	2.55	1.84
26.9	42.3	142.9	6.23	97.3	883.	8.77	0.251E 07	1.178	2868.	1.77	2.44	1.77
30.1	43.5	148.5	6.19	101.1	888.	8.45	0.263E 07	1.201	2849.	1.69	2.33	1.70
33.3	44.6	148.8	6.16	105.3	888.	8.52	0.275E 07	1.219	2959.	1.67	2.30	1.69
36.4	45.7	150.6	6.12	109.6	885.	8.44	0.287E 07	1.229	3016.	1.63	2.23	1.66
39.6	46.8	156.1	6.08	114.3	890.	8.14	0.298E 07	1.234	2992.	1.57	2.11	1.59
42.8	47.8	161.4	6.04	119.2	894.	7.87	0.309E 07	1.231	2972.	1.53	2.01	1.53
45.9	48.9	164.2	6.00	124.5	896.	7.77	0.319E 07	1.223	3008.	1.51	1.94	1.49
49.1	49.9	167.0	5.95	130.0	898.	7.68	0.329E 07	1.210	3043.	1.49	1.87	1.45
52.3	51.0	173.8	5.91	135.9	904.	7.36	0.338E 07	1.194	2983.	1.45	1.77	1.38
55.5	52.0	102.9	5.86	142.0	895.	8.08	0.347E 07	1.175	3340.	1.53	1.86	1.46
58.6	53.1	141.9	5.80	148.5	901.	7.65	0.355E 07	1.154	3225.	1.48	1.73	1.38
61.8	54.1	171.1	5.75	155.2	902.	7.71	0.362E 07	1.131	3304.	1.49	1.70	1.36
65.0	55.2	171.3	5.69	162.3	902.	7.77	0.369E 07	1.108	3379.	1.50	1.67	1.35
68.1	56.3	174.0	5.63	169.8	918.	7.80	0.375E 07	1.084	3441.	1.52	1.64	1.34
71.3	57.4	179.6	5.56	177.7	923.	7.55	0.380E 07	1.060	3370.	1.49	1.56	1.28
74.5	58.5	171.7	5.50	185.9	917.	8.10	0.385E 07	1.036	3653.	1.56	1.62	1.33
77.6	59.6	178.1	5.43	194.5	922.	7.78	0.390E 07	1.011	3538.	1.52	1.53	1.27
80.8	60.8	168.8	5.35	203.5	914.	8.46	0.394E 07	0.987	3870.	1.60	1.61	1.34
84.0	61.9	172.1	5.27	212.8	917.	8.32	0.398E 07	0.963	3824.	1.59	1.59	1.30
87.1	63.0	175.3	5.19	222.6	919.	8.19	0.401E 07	0.941	3776.	1.57	1.50	1.27
90.3	64.2	174.2	5.11	232.8	919.	8.25	0.404E 07	0.920	3861.	1.59	1.50	1.27
93.5	65.3	173.1	5.02	243.6	918.	8.51	0.406E 07	0.901	3943.	1.61	1.49	1.27
96.6	66.4	162.5	4.92	254.9	923.	7.97	0.408E 07	0.883	3696.	1.55	1.69	1.19

RUN 17-1

MASS FLOW 17.9 G/S T-IN 31.3 K T-OUT 119.1 K P-IN 6.37 MPA P-OUT 5.55 MPA HEAT BALANCE 0.9 %
HX-EXP / HX-CAL

X/D	TB	TW	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	BUCK	FILM	INTL
4.8	38.1	161.3	6.34	38.9	685.	5.56	0.948E 06	1.072	1644.	2.62	3.29	2.29
7.9	40.6	263.6	6.33	41.5	748.	3.36	0.105E 07	1.134	1047.	1.92	2.25	1.61
11.1	43.0	288.5	6.32	44.5	761.	3.10	0.115E 07	1.181	1022.	1.75	2.07	1.50
14.3	45.2	322.6	6.31	47.6	777.	2.80	0.125E 07	1.209	974.	1.60	1.89	1.37
17.4	47.5	429.7	6.30	51.7	819.	2.14	0.134E 07	1.212	785.	1.39	1.65	1.14
20.6	49.9	478.3	6.28	56.1	835.	1.95	0.143E 07	1.193	747.	1.31	1.53	1.03
23.8	52.2	465.2	6.27	60.8	831.	2.01	0.150E 07	1.157	801.	1.31	1.46	1.01
26.9	54.6	431.3	6.26	65.9	819.	2.18	0.156E 07	1.114	893.	1.34	1.41	1.01
30.1	57.8	398.0	6.24	71.1	807.	2.37	0.161E 07	1.070	994.	1.38	1.37	1.02
33.3	59.5	380.8	6.22	76.5	801.	2.49	0.165E 07	1.027	1062.	1.40	1.32	1.01
36.4	62.1	341.3	6.21	82.2	820.	2.94	0.167E 07	0.982	1257.	1.53	1.38	1.09
39.6	64.8	321.6	6.19	88.0	811.	3.17	0.169E 07	0.942	1355.	1.57	1.37	1.10
42.8	67.5	330.5	6.17	93.9	802.	3.44	0.169E 07	0.908	1466.	1.61	1.38	1.13
45.9	70.3	294.6	6.15	99.8	797.	3.64	0.170E 07	0.879	1539.	1.64	1.37	1.14
49.1	73.1	277.4	6.13	105.8	791.	3.87	0.169E 07	0.856	1618.	1.67	1.37	1.15
52.3	76.0	264.7	6.11	111.7	785.	4.16	0.168E 07	0.838	1714.	1.70	1.39	1.18
55.5	78.8	247.4	6.09	117.6	776.	4.60	0.167E 07	0.823	1869.	1.77	1.44	1.24
58.6	81.6	249.7	6.06	123.5	775.	4.72	0.166E 07	0.807	1875.	1.76	1.43	1.23
61.8	84.5	236.4	6.04	129.3	771.	5.01	0.164E 07	0.792	1937.	1.76	1.46	1.26
65.0	87.3	236.0	6.02	135.1	770.	5.18	0.162E 07	0.780	1949.	1.78	1.46	1.27
68.1	90.2	226.9	6.00	140.9	774.	5.58	0.160E 07	0.771	2047.	1.83	1.51	1.32
71.3	93.0	231.5	5.97	146.7	776.	5.60	0.158E 07	0.763	2002.	1.79	1.49	1.31
74.5	95.8	220.0	5.95	152.4	769.	6.19	0.156E 07	0.758	2157.	1.87	1.58	1.39
77.6	98.6	221.9	5.93	158.1	771.	6.25	0.154E 07	0.753	2122.	1.84	1.56	1.38
80.8	101.4	225.6	5.90	163.8	773.	6.22	0.154E 07	0.738	2060.	1.79	1.54	1.36
84.0	104.1	225.2	5.88	169.5	772.	6.38	0.153E 07	0.735	2060.	1.78	1.54	1.37
87.1	106.3	224.6	5.85	175.2	772.	6.55	0.151E 07	0.731	2065.	1.77	1.56	1.38
90.3	109.6	236.5	5.83	180.8	775.	6.41	0.149E 07	0.729	1971.	1.71	1.51	1.34
93.5	112.3	236.4	5.80	186.5	779.	6.27	0.147E 07	0.726	1884.	1.66	1.47	1.31
96.6	114.9	233.1	5.77	192.2	777.	6.57	0.146E 07	0.724	1929.	1.68	1.51	1.34

RUN 17-2

MASS FLOW 17.8 G/S T-IN 31.3 K T-OUT 120.0 K P-IN 6.37 MPA P-OUT 5.55 MPA HEAT BALANCE 0.1 %												
X/D	TB	TR	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	BULK	FILM	INTL
4.8	38.1	170.2	6.33	38.9	687.	5.20	0.947E 06	1.073	1538.	2.53	3.12	2.16
7.9	40.6	267.0	6.32	41.4	745.	3.29	0.105E 07	1.135	1028.	1.90	2.23	1.59
11.1	43.0	299.7	6.32	44.4	761.	2.97	0.115E 07	1.182	979.	1.71	2.03	1.46
14.3	45.3	361.8	6.31	47.8	788.	2.49	0.125E 07	1.209	868.	1.52	1.80	1.28
17.4	47.6	444.9	6.29	51.7	819.	2.06	0.134E 07	1.212	758.	1.36	1.63	1.11
20.6	49.9	501.1	6.28	56.1	837.	1.86	0.143E 07	1.192	713.	1.28	1.50	1.01
23.8	52.3	474.7	6.27	60.9	829.	1.96	0.150E 07	1.156	783.	1.29	1.44	0.99
26.9	54.7	444.0	6.25	65.9	819.	2.10	0.156E 07	1.113	865.	1.32	1.40	0.99
30.1	57.1	414.0	6.24	71.2	808.	2.27	0.161E 07	1.068	952.	1.35	1.35	0.99
33.3	59.6	383.7	6.22	76.6	797.	2.46	0.164E 07	1.025	1048.	1.39	1.31	1.00
36.4	62.2	345.5	6.20	82.2	819.	2.89	0.167E 07	0.981	1237.	1.52	1.37	1.08
39.6	64.9	337.0	6.18	88.1	815.	3.00	0.168E 07	0.941	1282.	1.53	1.34	1.06
42.8	67.7	301.1	6.16	94.0	799.	3.42	0.169E 07	0.908	1458.	1.61	1.37	1.12
45.9	70.4	290.1	6.14	99.9	794.	3.61	0.169E 07	0.878	1526.	1.63	1.36	1.13
49.1	73.3	279.4	6.12	105.8	789.	3.83	0.169E 07	0.855	1598.	1.65	1.36	1.14
52.3	76.1	265.0	6.10	111.7	782.	4.12	0.168E 07	0.837	1698.	1.69	1.38	1.17
55.5	78.9	256.0	6.08	117.6	777.	4.39	0.167E 07	0.825	1781.	1.73	1.40	1.20
58.6	81.8	246.8	6.06	123.5	774.	4.61	0.165E 07	0.807	1826.	1.74	1.41	1.21
61.8	84.6	233.5	6.04	129.3	770.	4.85	0.163E 07	0.792	1872.	1.75	1.42	1.23
65.0	87.5	223.5	6.02	135.1	768.	5.05	0.162E 07	0.780	1900.	1.75	1.43	1.25
68.1	90.3	237.3	5.99	140.9	775.	5.27	0.160E 07	0.770	1931.	1.76	1.45	1.27
71.3	93.2	242.5	5.97	146.7	778.	5.21	0.158E 07	0.763	1858.	1.71	1.41	1.24
74.5	96.0	232.1	5.95	152.4	772.	5.67	0.156E 07	0.757	1973.	1.76	1.48	1.30
77.6	98.8	227.4	5.92	158.2	770.	5.98	0.154E 07	0.753	2029.	1.79	1.51	1.34
80.8	101.6	230.5	5.90	163.8	771.	5.98	0.154E 07	0.738	1977.	1.74	1.49	1.32
84.0	104.3	232.8	5.87	169.5	773.	6.61	0.152E 07	0.734	1938.	1.71	1.48	1.31
87.1	107.1	235.1	5.85	175.2	774.	6.04	0.150E 07	0.731	1900.	1.68	1.46	1.30
90.3	109.8	237.6	5.82	180.8	775.	6.66	0.148E 07	0.728	1858.	1.65	1.45	1.29
93.5	112.5	240.6	5.80	186.5	777.	6.67	0.147E 07	0.726	1818.	1.62	1.43	1.27
96.6	115.2	236.6	5.77	192.1	775.	6.38	0.145E 07	0.724	1869.	1.64	1.47	1.31

RUN 17-3

MASS FLOW 26.0 G/S T-IN 30.6 K T-OUT 118.4 K P-IN 7.05 MPA P-OUT 5.52 MPA HEAT BALANCE -2.9 %												
X/D	TB	TR	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	BULK	FILM	INTL
4.8	36.9	162.1	6.99	38.9	981.	7.83	0.126E 07	1.013	2194.	2.92	3.29	2.30
7.9	39.5	243.0	6.97	57.1	1044.	5.11	0.139E 07	1.067	1506.	2.19	2.37	1.70
11.1	42.0	240.4	6.95	60.7	1042.	5.25	0.153E 07	1.114	1627.	2.07	2.32	1.70
14.3	44.3	261.8	6.94	64.6	1056.	4.86	0.166E 07	1.146	1582.	1.89	2.13	1.58
17.4	46.6	351.1	6.92	69.1	1107.	3.64	0.179E 07	1.164	1242.	1.60	1.79	1.30
20.6	48.9	405.9	6.89	74.2	1134.	3.18	0.191E 07	1.163	1135.	1.47	1.64	1.16
23.8	51.1	456.9	6.87	79.8	1134.	3.19	0.202E 07	1.147	1186.	1.44	1.57	1.12
26.9	53.4	419.6	6.84	85.8	1140.	3.11	0.212E 07	1.119	1198.	1.40	1.49	1.07
30.1	55.7	432.5	6.81	92.2	1146.	3.04	0.220E 07	1.086	1204.	1.37	1.41	1.01
33.3	58.1	391.6	6.78	99.0	1127.	3.38	0.226E 07	1.050	1367.	1.43	1.39	1.04
36.4	60.5	349.0	6.75	106.1	1106.	4.04	0.232E 07	1.012	1657.	1.58	1.47	1.14
39.6	63.0	361.2	6.72	113.6	1156.	4.31	0.235E 07	0.974	1781.	1.61	1.45	1.15
42.8	65.6	313.2	6.68	121.2	1147.	4.63	0.238E 07	0.940	1916.	1.65	1.45	1.17
45.9	68.2	291.3	6.65	129.0	1134.	5.08	0.240E 07	0.909	2100.	1.71	1.47	1.21
49.1	70.8	269.3	6.61	136.9	1121.	5.65	0.240E 07	0.884	2321.	1.78	1.51	1.26
52.3	73.5	272.4	6.57	144.8	1123.	5.65	0.240E 07	0.862	2301.	1.76	1.46	1.23
55.5	76.2	230.1	6.53	152.8	1096.	7.12	0.240E 07	0.844	2674.	1.98	1.65	1.42
58.6	78.8	209.0	6.49	160.8	1095.	7.29	0.239E 07	0.830	2908.	1.98	1.64	1.41
61.8	81.5	226.9	6.44	168.9	1090.	7.81	0.237E 07	0.814	3058.	2.02	1.68	1.46
65.0	84.2	211.0	6.40	177.0	1083.	8.54	0.235E 07	0.799	3266.	2.09	1.75	1.53
68.1	86.8	216.4	6.35	185.1	1092.	8.43	0.233E 07	0.787	3152.	2.04	1.70	1.49
71.3	89.5	219.1	6.31	193.4	1091.	8.69	0.231E 07	0.776	3173.	2.04	1.71	1.50
74.5	92.1	210.2	6.26	201.6	1088.	9.21	0.229E 07	0.768	3286.	2.08	1.76	1.55
77.6	94.8	203.3	6.21	209.9	1083.	9.98	0.227E 07	0.762	3481.	2.18	1.84	1.63
80.8	97.4	194.4	6.16	218.3	1076.	11.09	0.224E 07	0.757	3784.	2.27	1.97	1.76
84.0	100.0	190.9	6.11	226.7	1078.	11.62	0.222E 07	0.753	3711.	2.23	1.95	1.74
87.1	102.5	199.6	6.06	235.2	1080.	11.12	0.223E 07	0.738	3628.	2.18	1.92	1.72
90.3	105.1	212.0	6.01	243.6	1089.	10.19	0.220E 07	0.734	3251.	2.01	1.77	1.58
93.5	107.6	227.2	5.95	252.6	1090.	9.41	0.218E 07	0.731	2936.	1.87	1.65	1.46
96.6	110.1	225.6	5.89	261.5	1099.	9.52	0.216E 07	0.729	2907.	1.85	1.64	1.46

FIG. 17-4

MASS FLOW 25.3 G/S T-IN 36.1 K T-OUT 123.7 K P-IN 7.07 MPa P-OUT 5.52 MPa HEAT BALANCE -1.5 %

X/D	TB	TW	P	U	G	HX	RE	PR	NU	HX-EXP / HX-CAL		INTL
										BULK	FILM	
4.8	37.7	173.2	7.91	52.7	1038.	7.63	0.123E 07	1.016	2142.	2.99	3.31	2.63
7.9	39.9	270.9	6.99	56.1	1111.	4.81	0.138E 07	1.074	1426.	2.20	2.38	1.70
11.1	42.6	281.4	6.97	59.9	1116.	4.68	0.152E 07	1.121	1467.	2.03	2.25	1.64
14.3	45.1	315.6	6.96	64.3	1138.	4.21	0.166E 07	1.152	1391.	1.83	2.65	1.50
17.4	47.6	432.6	6.93	69.3	1197.	3.11	0.179E 07	1.164	1082.	1.55	1.77	1.22
20.6	50.1	496.9	6.91	75.3	1223.	2.74	0.192E 07	1.155	999.	1.43	1.62	1.09
23.8	52.6	472.0	6.89	81.2	1214.	2.89	0.203E 07	1.129	1099.	1.43	1.56	1.08
26.9	55.1	457.6	6.86	87.8	1208.	3.00	0.212E 07	1.094	1177.	1.43	1.50	1.06
30.1	57.7	443.3	6.83	94.8	1201.	3.12	0.219E 07	1.056	1253.	1.44	1.45	1.04
33.3	60.3	392.4	6.80	102.1	1178.	3.54	0.224E 07	1.016	1448.	1.51	1.43	1.08
36.4	62.9	347.3	6.76	109.7	1204.	4.25	0.228E 07	0.976	1743.	1.66	1.40	1.18
39.6	65.7	326.9	6.73	117.6	1194.	4.54	0.231E 07	0.939	1871.	1.69	1.48	1.21
42.8	68.5	310.8	6.69	125.6	1184.	4.89	0.233E 07	0.907	2012.	1.74	1.48	1.21
45.9	71.3	291.0	6.65	133.7	1173.	5.34	0.233E 07	0.880	2184.	1.79	1.50	1.25
49.1	74.2	271.1	6.62	141.9	1161.	5.89	0.233E 07	0.858	2389.	1.86	1.54	1.30
52.3	77.1	272.3	6.58	150.1	1161.	5.95	0.233E 07	0.840	2384.	1.84	1.50	1.27
55.5	79.9	250.0	6.53	158.4	1138.	7.29	0.231E 07	0.826	2883.	2.03	1.67	1.44
58.6	82.8	237.3	6.49	166.6	1139.	7.37	0.230E 07	0.807	2844.	2.00	1.64	1.42
61.8	85.7	230.4	6.45	174.9	1134.	7.83	0.228E 07	0.793	2948.	2.03	1.68	1.46
65.0	88.5	222.7	6.41	183.2	1124.	8.41	0.225E 07	0.781	3087.	2.07	1.73	1.51
68.1	91.4	225.0	6.36	191.6	1143.	8.55	0.223E 07	0.771	3054.	2.06	1.72	1.51
71.3	94.2	229.4	6.31	200.0	1143.	8.72	0.221E 07	0.764	3046.	2.04	1.71	1.51
74.5	97.1	222.3	6.27	208.5	1141.	9.13	0.218E 07	0.756	3113.	2.06	1.75	1.54
77.6	99.9	214.2	6.22	217.0	1135.	9.93	0.215E 07	0.754	3307.	2.13	1.83	1.60
80.8	102.7	207.7	6.17	225.6	1130.	10.76	0.216E 07	0.738	3495.	2.19	1.93	1.71
84.0	105.4	210.2	6.12	234.2	1132.	10.80	0.214E 07	0.734	3425.	2.16	1.91	1.70
87.1	108.1	213.0	6.06	242.9	1134.	10.82	0.211E 07	0.731	3350.	2.12	1.89	1.68
90.3	110.8	223.8	6.01	251.7	1142.	10.11	0.209E 07	0.726	3060.	1.98	1.77	1.58
93.5	113.5	234.6	5.96	260.7	1150.	9.48	0.207E 07	0.726	2806.	1.85	1.66	1.48
96.6	116.2	267.2	5.90	269.6	1151.	9.51	0.204E 07	0.724	2754.	1.83	1.65	1.47

FIG. 17-5

MASS FLOW 28.9 G/S T-IN 29.3 K T-OUT 139.2 K P-IN 7.12 MPa P-OUT 5.52 MPa HEAT BALANCE -0.5 %

X/D	TB	TW	P	U	G	HX	RE	PR	NU	HX-EXP / HX-CAL		INTL
										BULK	FILM	
4.8	37.3	190.9	7.06	50.0	1187.	7.73	0.117E 07	1.019	2174.	3.32	3.58	2.54
7.9	40.8	393.5	7.04	54.0	1318.	3.74	0.134E 07	1.088	1123.	2.16	2.36	1.61
11.1	44.1	484.6	7.02	58.8	1360.	3.79	0.151E 07	1.137	994.	1.84	2.14	1.39
14.3	47.2	568.6	7.00	64.5	1391.	2.69	0.167E 07	1.159	925.	1.64	1.92	1.24
17.4	50.3	632.6	6.98	70.9	1415.	2.43	0.181E 07	1.149	884.	1.52	1.74	1.11
20.6	53.4	571.9	6.95	78.1	1394.	2.69	0.193E 07	1.116	1026.	1.54	1.68	1.12
23.8	56.5	401.1	6.92	85.7	1358.	3.20	0.203E 07	1.073	1264.	1.63	1.68	1.17
26.9	59.6	448.0	6.89	93.6	1344.	3.46	0.210E 07	1.027	1400.	1.67	1.63	1.17
30.1	62.7	415.0	6.86	101.6	1329.	3.77	0.214E 07	0.980	1540.	1.71	1.58	1.18
33.3	65.9	378.3	6.83	110.3	1310.	4.20	0.218E 07	0.938	1720.	1.77	1.56	1.21
36.4	69.2	345.6	6.79	119.0	1316.	4.76	0.219E 07	0.902	1945.	1.87	1.59	1.27
39.6	72.6	329.1	6.75	127.8	1306.	5.39	0.220E 07	0.872	2063.	1.89	1.57	1.29
42.8	76.0	312.5	6.71	136.7	1297.	5.88	0.219E 07	0.848	2195.	1.93	1.58	1.31
45.9	79.4	305.0	6.68	145.6	1292.	5.73	0.218E 07	0.831	2259.	1.94	1.56	1.31
49.1	82.9	297.5	6.64	154.6	1288.	6.70	0.216E 07	0.809	2302.	1.93	1.56	1.32
52.3	86.3	286.7	6.59	163.5	1281.	6.39	0.214E 07	0.792	2380.	1.94	1.57	1.34
55.5	89.7	272.8	6.55	172.4	1272.	6.95	0.213E 07	0.778	2511.	1.98	1.62	1.39
58.6	93.1	271.6	6.51	181.3	1272.	7.12	0.209E 07	0.768	2499.	1.96	1.60	1.39
61.8	96.5	265.5	6.47	190.1	1267.	7.50	0.206E 07	0.761	2556.	1.96	1.63	1.42
65.0	99.9	258.2	6.42	199.0	1263.	7.97	0.203E 07	0.755	2641.	1.99	1.67	1.46
68.1	103.2	266.1	6.38	207.9	1268.	7.90	0.203E 07	0.739	2582.	1.92	1.64	1.43
71.3	106.5	275.1	6.33	216.9	1294.	7.68	0.200E 07	0.734	2397.	1.84	1.58	1.38
74.5	109.8	261.6	6.28	226.0	1285.	8.45	0.198E 07	0.731	2567.	1.91	1.66	1.47
77.6	113.1	255.4	6.23	235.0	1281.	9.10	0.195E 07	0.728	2659.	1.94	1.72	1.52
80.8	116.3	252.7	6.18	244.1	1279.	9.37	0.192E 07	0.725	2697.	1.95	1.75	1.55
84.0	119.4	257.5	6.13	253.3	1282.	9.29	0.190E 07	0.723	2604.	1.90	1.72	1.53
87.1	122.6	262.2	6.07	262.5	1285.	9.21	0.188E 07	0.720	2518.	1.85	1.69	1.50
90.3	125.7	269.1	6.02	271.9	1290.	8.99	0.185E 07	0.722	2414.	1.79	1.64	1.46
93.5	128.8	275.9	5.96	281.5	1294.	8.79	0.183E 07	0.724	2320.	1.73	1.60	1.43
96.6	131.8	278.2	5.91	291.2	1296.	8.85	0.181E 07	0.725	2295.	1.72	1.59	1.42

RUN 17-6

MASS FLOW 24.6 G/S T-IN 29.2 K T-OUT 136.7 K P-IN 7.18 MPA P-OUT 5.92 MPA HEAT BALANCE -1.1 %												
X/D	TB	TW	P	U	G	HX		PR	NU	HX-EXP / HX-CAL		INTL
						RE	REF			BULK	FILM	
4.8	37.0	185.6	7.12	51.3	1188.	7.99	0.119E 07	1.7010	2231.	3.33	3.57	2.53
7.9	40.4	364.4	7.10	55.3	1310.	4.14	0.136E 07	1.078	1202.	2.20	2.36	1.63
11.1	43.6	456.2	7.08	59.9	1352.	3.32	0.153E 07	1.127	1056.	1.87	2.14	1.42
14.3	46.7	551.1	7.06	65.4	1393.	2.76	0.169E 07	1.153	935.	1.63	1.91	1.23
17.4	49.7	632.1	7.04	71.7	1422.	2.44	0.184E 07	1.150	876.	1.49	1.72	1.10
20.6	52.7	590.2	7.01	78.7	1408.	2.62	0.197E 07	1.123	986.	1.50	1.65	1.09
23.8	55.7	490.9	6.98	86.2	1369.	3.15	0.207E 07	1.084	1229.	1.59	1.65	1.15
26.9	58.7	454.0	6.95	94.0	1353.	3.42	0.219E 07	1.040	1373.	1.62	1.61	1.15
30.1	61.7	417.7	6.91	102.1	1337.	3.75	0.220E 07	0.995	1927.	1.67	1.57	1.16
33.3	64.8	383.3	6.88	110.5	1319.	4.14	0.224E 07	0.952	1694.	1.72	1.54	1.19
36.4	67.9	350.2	6.84	119.1	1307.	4.70	0.226E 07	0.915	1921.	1.82	1.57	1.25
39.6	71.2	330.4	6.80	127.9	1316.	5.68	0.227E 07	0.884	2062.	1.86	1.56	1.27
42.8	74.5	310.4	6.76	136.6	1304.	5.53	0.227E 07	0.859	2222.	1.91	1.57	1.30
45.9	77.8	302.8	6.72	145.7	1300.	5.78	0.226E 07	0.839	2292.	1.91	1.55	1.30
49.1	81.1	295.2	6.68	154.7	1295.	6.65	0.225E 07	0.821	2353.	1.92	1.55	1.31
52.3	84.4	289.9	6.64	163.7	1292.	6.29	0.223E 07	0.801	2377.	1.91	1.54	1.31
55.5	87.8	271.8	6.60	172.7	1280.	6.96	0.220E 07	0.786	2555.	1.96	1.60	1.38
58.6	91.0	268.6	6.55	181.7	1278.	7.20	0.218E 07	0.774	2570.	1.95	1.60	1.38
61.8	94.3	253.3	6.51	190.6	1275.	7.54	0.215E 07	0.766	2618.	1.95	1.61	1.40
65.0	97.6	256.5	6.46	199.6	1270.	7.99	0.212E 07	0.759	2698.	1.97	1.65	1.44
68.1	100.8	264.0	6.41	208.6	1294.	7.93	0.212E 07	0.743	2604.	1.92	1.62	1.42
71.3	104.1	270.2	6.36	217.6	1298.	7.81	0.210E 07	0.738	2494.	1.85	1.57	1.38
74.5	107.3	257.2	6.31	227.0	1290.	8.60	0.207E 07	0.733	2670.	1.92	1.66	1.46
77.6	110.4	252.8	6.26	236.1	1287.	9.04	0.204E 07	0.730	2762.	1.93	1.70	1.50
80.8	113.5	250.2	6.21	245.4	1285.	9.40	0.202E 07	0.727	2768.	1.94	1.72	1.53
84.0	116.6	255.1	6.15	254.7	1288.	9.30	0.199E 07	0.725	2671.	1.89	1.69	1.50
87.1	119.7	259.9	6.10	264.2	1292.	9.21	0.197E 07	0.722	2580.	1.83	1.66	1.48
90.3	122.7	266.3	6.04	273.8	1296.	9.33	0.194E 07	0.720	2467.	1.77	1.62	1.44
93.5	125.7	272.6	5.98	283.2	1300.	8.85	0.192E 07	0.722	2378.	1.72	1.58	1.41
96.6	128.7	273.3	5.92	293.4	1360.	8.99	0.189E 07	0.724	2375.	1.72	1.58	1.41

RUN 17-7

MASS FLOW 26.5 G/S T-IN 28.8 K T-OUT 124.0 K P-IN 7.48 MPA P-OUT 5.52 MPA HEAT BALANCE -0.4 %												
X/D	TB	TW	P	U	G	HX		PR	NU	HX-EXP / HX-CAL		INTL
						RE	REF			BULK	FILM	
4.8	36.0	163.6	7.41	57.5	1188.	9.31	0.130E 07	0.981	2529.	3.38	3.54	2.49
7.9	39.1	260.9	7.39	61.1	1270.	5.73	0.146E 07	1.040	1640.	2.42	2.47	1.78
11.1	42.0	296.4	7.37	65.2	1294.	5.09	0.163E 07	1.088	1939.	2.12	2.25	1.63
14.3	44.7	355.5	7.35	69.9	1330.	4.28	0.178E 07	1.121	1367.	1.85	2.00	1.43
17.4	47.4	432.4	7.32	75.2	1370.	3.56	0.194E 07	1.138	1197.	1.63	1.51	1.25
20.6	50.0	501.8	7.29	81.3	1401.	3.10	0.208E 07	1.135	1095.	1.49	1.60	1.11
23.8	52.6	497.4	7.26	87.9	1399.	3.15	0.221E 07	1.115	1158.	1.46	1.58	1.08
26.9	55.2	478.0	7.23	95.1	1391.	3.29	0.231E 07	1.085	1254.	1.46	1.53	1.06
30.1	57.8	458.7	7.19	102.6	1382.	3.45	0.240E 07	1.050	1350.	1.47	1.48	1.05
33.3	60.5	419.7	7.15	110.5	1364.	3.80	0.247E 07	1.013	1512.	1.52	1.45	1.07
36.4	63.2	370.4	7.11	118.7	1393.	4.58	0.252E 07	0.974	1823.	1.66	1.51	1.17
39.6	66.0	340.7	7.07	127.3	1376.	5.01	0.259E 07	0.939	2023.	1.72	1.51	1.20
42.8	68.8	311.0	7.03	136.1	1359.	5.61	0.257E 07	0.909	2263.	1.80	1.54	1.26
45.9	71.7	298.7	6.98	145.0	1351.	5.95	0.258E 07	0.882	2391.	1.83	1.53	1.27
49.1	74.6	286.3	6.93	154.0	1343.	6.24	0.259E 07	0.861	2528.	1.86	1.54	1.29
52.3	77.5	277.0	6.88	163.1	1337.	6.71	0.258E 07	0.843	2644.	1.89	1.54	1.31
55.5	80.4	258.8	6.83	172.3	1321.	7.62	0.257E 07	0.827	2963.	1.99	1.63	1.40
58.6	83.3	247.6	6.78	181.5	1317.	8.02	0.259E 07	0.809	3044.	2.01	1.65	1.42
61.8	86.3	240.0	6.73	190.7	1312.	8.49	0.253E 07	0.794	3146.	2.03	1.67	1.45
65.0	89.1	231.1	6.67	200.0	1305.	9.19	0.251E 07	0.782	3325.	2.08	1.76	1.51
68.1	92.0	239.0	6.62	209.4	1320.	8.99	0.249E 07	0.772	3173.	2.02	1.68	1.47
71.3	94.9	242.6	6.56	219.0	1323.	8.96	0.246E 07	0.765	3088.	1.97	1.64	1.44
74.5	97.8	230.0	6.50	228.6	1314.	9.93	0.243E 07	0.759	3344.	2.06	1.74	1.54
77.6	100.6	225.4	6.44	238.3	1310.	10.50	0.244E 07	0.744	3452.	2.08	1.79	1.58
80.8	103.4	223.7	6.38	248.1	1309.	10.88	0.242E 07	0.739	3492.	2.08	1.81	1.61
84.0	106.2	228.1	6.31	258.0	1312.	10.76	0.239E 07	0.735	3373.	2.06	1.77	1.57
87.1	108.9	232.5	6.25	268.1	1316.	10.65	0.236E 07	0.731	3261.	1.97	1.74	1.54
90.3	111.7	248.1	6.18	278.3	1320.	10.44	0.234E 07	0.729	3125.	1.91	1.69	1.50
93.5	114.4	243.7	6.11	288.6	1324.	10.24	0.231E 07	0.726	2999.	1.85	1.65	1.47
96.6	117.1	242.7	6.04	299.4	1326.	10.53	0.229E 07	0.724	3018.	1.85	1.67	1.49

RUN 18-1

MASS FLOW 23.7 G/S T-IN 29.2 K T-OUT 122.8 K P-IN 5.00 MPA P-OUT 2.95 MPA HEAT BALANCE -0.4 %

X/D	TB	TW	P	U	D	HX	RE	PR	NU	HEAT BALANCE		INTL
										HX-EXP	HX-CAL	
4.8	35.6	171.6	4.95	47.3	934.	6.87	0.116E 07	1.099	2080.	3.01	4.33	2.85
7.9	38.4	502.6	4.93	51.4	1107.	2.38	0.132E 07	1.220	778.	1.71	2.46	1.51
11.1	41.1	603.2	4.91	56.6	1339.	2.03	0.151E 07	1.331	719.	1.47	2.19	1.32
14.3	43.4	468.1	4.89	63.0	1094.	2.58	0.166E 07	1.386	987.	1.53	2.18	1.42
17.4	45.6	456.6	4.87	73.0	1091.	2.64	0.183E 07	1.375	1082.	1.51	2.04	1.36
20.6	47.8	430.8	4.84	77.0	1080.	2.82	0.196E 07	1.326	1222.	1.54	1.95	1.36
23.8	49.1	357.2	4.81	86.3	1052.	3.32	0.207E 07	1.256	1502.	1.65	1.88	1.36
26.9	52.3	320.4	4.78	95.3	1040.	3.47	0.215E 07	1.179	1623.	1.69	1.79	1.32
30.1	54.7	339.6	4.75	104.8	1039.	3.65	0.221E 07	1.105	1742.	1.73	1.72	1.32
33.3	57.2	306.5	4.71	114.7	1022.	4.10	0.225E 07	1.037	1982.	1.83	1.72	1.35
36.4	59.8	285.3	4.67	124.9	1024.	4.54	0.228E 07	0.977	2203.	1.93	1.73	1.39
39.6	62.6	279.5	4.63	135.5	1018.	4.78	0.229E 07	0.924	2307.	1.97	1.70	1.39
42.8	65.4	269.5	4.59	146.4	1013.	5.06	0.229E 07	0.883	2414.	2.00	1.68	1.39
45.9	68.3	256.3	4.55	157.4	1007.	5.35	0.228E 07	0.850	2519.	2.04	1.67	1.40
49.1	71.2	247.1	4.51	168.6	1002.	5.69	0.225E 07	0.826	2631.	2.08	1.68	1.42
52.3	74.2	242.0	4.46	180.0	1010.	5.38	0.223E 07	0.807	2439.	1.98	1.56	1.33
55.5	77.2	228.2	4.42	191.6	998.	6.55	0.220E 07	0.794	2909.	2.17	1.73	1.49
58.6	80.1	235.6	4.37	203.1	993.	6.47	0.216E 07	0.785	2868.	2.12	1.67	1.45
61.8	83.1	232.0	4.32	214.9	992.	6.66	0.213E 07	0.771	2801.	2.16	1.66	1.45
65.0	86.1	222.6	4.27	226.6	986.	7.22	0.209E 07	0.760	2941.	2.15	1.72	1.51
68.1	89.0	232.2	4.21	239.0	1010.	7.76	0.206E 07	0.752	2785.	2.08	1.67	1.46
71.3	92.0	234.2	4.16	251.5	1011.	7.11	0.203E 07	0.747	2724.	2.04	1.65	1.44
74.5	94.9	232.2	4.10	264.3	1010.	7.36	0.199E 07	0.742	2736.	2.04	1.66	1.46
77.6	97.8	228.7	4.04	277.3	1008.	7.70	0.196E 07	0.739	2781.	2.05	1.69	1.49
80.8	100.7	217.5	3.98	290.6	1006.	8.56	0.196E 07	0.726	3008.	2.13	1.80	1.60
84.0	103.4	221.6	3.92	304.2	1003.	8.53	0.194E 07	0.723	2917.	2.08	1.77	1.58
87.1	106.2	224.6	3.85	318.3	1005.	8.47	0.191E 07	0.721	2921.	2.03	1.74	1.55
90.3	108.9	233.5	3.76	332.9	1011.	8.11	0.188E 07	0.719	2632.	1.93	1.66	1.48
93.5	111.5	242.5	3.71	348.2	1016.	7.76	0.186E 07	0.717	2459.	1.83	1.59	1.41
96.6	114.1	222.9	3.63	364.1	1023.	7.37	0.184E 07	0.716	2280.	1.74	1.51	1.39

RUN 18-2

MASS FLOW 25.7 G/S T-IN 28.4 K T-OUT 123.7 K P-IN 5.81 MPA P-OUT 3.31 MPA HEAT BALANCE -0.0 %

X/D	TB	TW	P	U	D	HX	RE	PR	NU	HEAT BALANCE		INTL
										HX-EXP	HX-CAL	
4.8	35.3	176.1	5.74	53.8	1114.	7.91	0.127E 07	1.032	2282.	3.21	4.00	2.69
7.9	38.4	404.0	5.72	58.0	1261.	3.44	0.145E 07	1.127	1061.	1.98	2.45	1.60
11.1	41.2	517.0	5.70	63.2	1309.	2.75	0.164E 07	1.214	912.	1.66	2.20	1.38
14.3	43.9	543.8	5.68	69.3	1319.	2.64	0.183E 07	1.268	940.	1.53	2.04	1.29
17.4	46.3	536.4	5.65	76.3	1316.	2.69	0.200E 07	1.279	1021.	1.48	1.92	1.24
20.6	48.7	489.4	5.62	84.2	1298.	2.95	0.215E 07	1.292	1183.	1.51	1.84	1.23
23.8	51.1	414.5	5.58	92.6	1265.	3.46	0.227E 07	1.204	1462.	1.60	1.81	1.29
26.9	53.5	391.3	5.54	101.6	1254.	3.71	0.237E 07	1.148	1613.	1.64	1.73	1.28
30.1	56.2	368.4	5.50	111.1	1243.	3.98	0.245E 07	1.090	1770.	1.69	1.68	1.27
33.3	58.5	337.2	5.46	121.1	1226.	4.40	0.250E 07	1.035	1990.	1.76	1.66	1.29
36.4	61.2	308.1	5.42	131.5	1234.	5.00	0.254E 07	0.981	2273.	1.88	1.70	1.36
39.6	63.9	294.6	5.37	142.3	1226.	5.32	0.256E 07	0.934	2413.	1.92	1.67	1.36
42.8	66.7	281.0	5.32	153.3	1218.	5.68	0.257E 07	0.895	2564.	1.97	1.67	1.37
45.9	69.6	272.4	5.27	164.6	1212.	5.98	0.257E 07	0.863	2668.	2.00	1.69	1.38
49.1	72.5	253.9	5.22	176.1	1207.	6.31	0.255E 07	0.838	2777.	2.03	1.65	1.39
52.3	75.4	260.3	5.16	187.6	1216.	6.27	0.253E 07	0.819	2718.	1.99	1.59	1.35
55.5	78.4	243.4	5.10	199.7	1193.	7.23	0.251E 07	0.805	3080.	2.12	1.70	1.46
58.6	81.4	245.6	5.04	211.7	1195.	7.27	0.248E 07	0.791	3024.	2.08	1.66	1.43
61.8	84.3	242.6	4.98	223.9	1192.	7.56	0.244E 07	0.777	3052.	2.08	1.66	1.44
65.0	87.3	233.8	4.92	236.2	1187.	8.10	0.241E 07	0.766	3177.	2.11	1.71	1.49
68.1	90.2	240.5	4.86	248.9	1216.	8.35	0.238E 07	0.758	3070.	2.07	1.67	1.46
71.3	93.1	243.3	4.79	262.0	1212.	8.67	0.234E 07	0.751	2993.	2.02	1.64	1.44
74.5	96.2	240.3	4.72	275.3	1210.	8.39	0.231E 07	0.746	3025.	2.02	1.66	1.46
77.6	98.9	235.7	4.65	289.0	1207.	8.82	0.228E 07	0.743	3100.	2.04	1.70	1.50
80.8	101.7	228.6	4.57	303.6	1202.	9.46	0.228E 07	0.729	3236.	2.08	1.76	1.56
84.0	104.4	233.0	4.49	317.4	1205.	9.37	0.225E 07	0.726	3125.	2.02	1.73	1.53
87.1	107.2	237.5	4.41	332.4	1208.	9.27	0.222E 07	0.723	3016.	1.97	1.69	1.50
90.3	109.8	242.5	4.32	348.6	1212.	9.33	0.219E 07	0.721	2900.	1.91	1.65	1.47
93.5	112.4	247.9	4.23	364.4	1215.	8.97	0.217E 07	0.719	2785.	1.85	1.61	1.43
96.6	115.2	250.6	4.14	381.6	1221.	8.63	0.214E 07	0.718	2619.	1.77	1.59	1.38

RUN 16-3

MASS FLOW 24.1 G/S T-IN 28.0 K T-OUT 137.7 K P-IN 5.83 MPA P-OUT 3.34 MPA HEAT BALANCE 0.7 %												
X/D	TB	TW	P	U	O	HX	RE	PR	NU	HX-EXP / HX-CAL		INTL
										BULK	FILM	
4.8	35.9	205.6	5.77	51.0	1249.	7.36	0.122E 07	1.548	2145.	3.36	4.64	2.76
7.9	39.4	393.5	5.75	55.7	1468.	3.86	0.141E 07	1.154	1217.	2.23	2.77	1.85
11.1	42.6	723.7	5.73	61.8	1494.	2.59	0.162E 07	1.241	752.	1.62	2.20	1.31
14.3	45.6	542.4	5.72	69.2	1438.	2.88	0.182E 07	1.275	1071.	1.70	2.22	1.42
17.4	48.4	520.4	5.67	77.4	1424.	3.52	0.199E 07	1.253	1198.	1.69	2.09	1.37
20.6	51.3	491.1	5.64	86.6	1412.	3.21	0.212E 07	1.198	1344.	1.71	1.97	1.34
23.8	54.2	424.7	5.60	96.5	1383.	3.73	0.223E 07	1.132	1623.	1.81	1.92	1.38
26.9	57.1	402.9	5.56	106.9	1372.	3.97	0.230E 07	1.065	1769.	1.86	1.82	1.35
30.1	60.2	387.4	5.52	117.9	1361.	4.24	0.235E 07	1.002	1913.	1.90	1.75	1.34
33.3	63.4	351.0	5.47	129.3	1345.	4.68	0.238E 07	0.944	2111.	1.97	1.73	1.36
36.4	66.7	330.0	5.43	140.9	1324.	5.33	0.239E 07	0.898	2253.	2.01	1.69	1.36
39.6	70.1	310.0	5.38	152.7	1317.	5.81	0.239E 07	0.861	2350.	2.03	1.66	1.36
42.8	73.5	306.1	5.33	164.7	1310.	5.63	0.237E 07	0.834	2450.	2.05	1.65	1.37
45.9	77.0	299.6	5.28	176.8	1306.	5.87	0.234E 07	0.815	2502.	2.05	1.62	1.36
49.1	80.5	293.2	5.22	189.0	1302.	6.12	0.231E 07	0.799	2549.	2.05	1.61	1.36
52.3	84.0	296.7	5.17	201.3	1304.	6.13	0.228E 07	0.781	2467.	1.99	1.57	1.35
55.5	87.4	274.7	5.11	213.8	1290.	6.89	0.224E 07	0.768	2578.	2.06	1.64	1.41
58.6	90.9	277.7	5.05	226.3	1292.	6.92	0.221E 07	0.758	2601.	2.01	1.60	1.39
61.8	94.3	274.3	4.99	238.9	1290.	7.17	0.217E 07	0.751	2608.	1.99	1.61	1.40
65.0	97.6	268.5	4.93	251.7	1286.	7.53	0.213E 07	0.746	2655.	2.00	1.63	1.42
68.1	101.0	272.1	4.87	264.8	1317.	7.70	0.213E 07	0.732	2632.	1.97	1.64	1.43
71.3	104.3	276.8	4.80	278.2	1320.	7.65	0.210E 07	0.728	2535.	1.91	1.60	1.40
74.5	107.6	262.9	4.73	291.9	1311.	8.45	0.206E 07	0.724	2714.	1.98	1.69	1.49
77.6	110.8	268.5	4.66	305.9	1315.	8.34	0.203E 07	0.722	2602.	1.92	1.65	1.46
80.8	114.0	262.3	4.59	320.3	1311.	8.84	0.200E 07	0.720	2682.	1.94	1.70	1.51
84.0	117.1	267.4	4.51	335.1	1314.	8.75	0.196E 07	0.718	2584.	1.89	1.67	1.48
87.1	120.2	272.3	4.43	350.5	1317.	8.66	0.195E 07	0.716	2494.	1.83	1.64	1.45
90.3	123.2	277.4	4.35	366.4	1321.	8.57	0.192E 07	0.715	2407.	1.78	1.61	1.43
93.5	126.1	282.4	4.26	383.2	1324.	8.47	0.190E 07	0.718	2339.	1.74	1.58	1.40
96.6	129.0	290.5	4.17	400.8	1329.	8.23	0.188E 07	0.720	2234.	1.69	1.54	1.36

RUN 16-4

MASS FLOW 29.4 G/S T-IN 28.3 K T-OUT 121.4 K P-IN 6.57 MPA P-OUT 3.74 MPA HEAT BALANCE 0.1 %												
X/D	TB	TW	P	U	O	HX	RE	PR	NU	HX-EXP / HX-CAL		INTL
										BULK	FILM	
4.8	35.2	168.4	6.49	59.9	1246.	9.35	0.137E 07	0.993	2601.	3.41	3.85	2.64
7.9	38.2	215.9	6.47	63.9	1290.	7.26	0.155E 07	1.068	2138.	2.70	3.09	2.19
11.1	41.1	388.7	6.45	68.7	1402.	4.83	0.174E 07	1.135	1263.	1.91	2.23	1.52
14.3	43.8	459.7	6.42	74.4	1437.	3.45	0.193E 07	1.183	1152.	1.68	2.05	1.35
17.4	46.4	555.0	6.39	81.0	1477.	2.90	0.211E 07	1.268	1029.	1.49	1.84	1.18
20.6	48.9	563.9	6.36	88.5	1481.	2.87	0.228E 07	1.199	1076.	1.44	1.72	1.12
23.8	51.3	473.1	6.32	96.6	1445.	3.42	0.242E 07	1.170	1340.	1.52	1.72	1.18
26.9	53.8	437.7	6.28	105.3	1427.	3.72	0.254E 07	1.129	1509.	1.55	1.67	1.18
30.1	56.3	402.9	6.23	114.5	1409.	4.07	0.263E 07	1.084	1698.	1.60	1.62	1.19
33.3	58.8	382.5	6.18	124.0	1388.	4.57	0.270E 07	1.039	1946.	1.66	1.60	1.23
36.4	61.4	328.1	6.13	134.1	1387.	5.20	0.275E 07	0.993	2237.	1.79	1.63	1.29
39.6	64.0	309.2	6.08	144.4	1376.	5.81	0.279E 07	0.951	2421.	1.84	1.62	1.31
42.8	66.7	290.6	6.03	155.1	1364.	6.09	0.281E 07	0.914	2625.	1.90	1.63	1.34
45.9	69.5	280.9	5.97	166.0	1358.	6.42	0.282E 07	0.883	2750.	1.93	1.62	1.34
49.1	72.3	271.1	5.91	177.2	1351.	6.80	0.282E 07	0.858	2884.	1.96	1.62	1.36
52.3	75.1	267.3	5.85	188.6	1349.	7.01	0.281E 07	0.837	2943.	1.97	1.60	1.35
55.5	77.9	247.1	5.78	200.1	1334.	7.89	0.279E 07	0.821	3265.	2.07	1.68	1.44
58.6	80.7	246.5	5.72	211.9	1334.	8.64	0.277E 07	0.807	3271.	2.05	1.66	1.43
61.8	83.5	242.0	5.65	223.8	1331.	8.40	0.274E 07	0.791	3329.	2.06	1.67	1.44
65.0	86.3	237.1	5.58	236.6	1327.	8.80	0.271E 07	0.778	3401.	2.07	1.69	1.47
68.1	89.2	237.2	5.51	248.4	1349.	9.11	0.268E 07	0.768	3433.	2.08	1.70	1.49
71.3	92.0	241.7	5.43	261.3	1353.	9.64	0.265E 07	0.760	3318.	2.03	1.66	1.45
74.5	94.8	228.1	5.35	274.4	1343.	10.37	0.262E 07	0.754	3608.	2.13	1.77	1.55
77.6	97.5	234.6	5.27	287.9	1347.	9.83	0.259E 07	0.749	3438.	2.05	1.71	1.50
80.8	100.2	229.8	5.18	301.7	1344.	10.37	0.259E 07	0.735	3541.	2.07	1.75	1.55
84.0	102.9	234.0	5.09	316.0	1347.	10.27	0.256E 07	0.731	3424.	2.01	1.72	1.52
87.1	105.5	238.4	5.00	330.8	1350.	10.16	0.254E 07	0.728	3310.	1.96	1.68	1.49
90.3	108.1	241.0	4.90	346.2	1352.	10.18	0.251E 07	0.725	3241.	1.92	1.66	1.47
93.5	110.8	243.4	4.80	362.3	1354.	10.20	0.248E 07	0.723	3178.	1.89	1.65	1.46
96.6	113.1	248.4	4.70	379.3	1358.	10.64	0.246E 07	0.721	3064.	1.84	1.61	1.43

超臨界圧における液体水素の熱伝達特性(1)

RUN 18-5

MASS FLOW 27.1 G/S T-IN 27.0 K T-OUT 138.1 K P-IN 6.95 MPa P-OUT 3.75 MPa HEAT BALANCE 9.9 %												
X/D	TB	TW	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	HEAT BALANCE		INTL
										BUCK	FILM	
4.8	35.1	195.3	6.40	56.3	1391.	8.74	0.132E 07	1.017	2473.	3.59	3.97	2.76
7.9	39.6	233.7	6.46	61.0	1424.	7.34	0.152E 07	1.101	2224.	2.91	3.36	2.40
11.1	42.9	270.0	6.43	66.8	1466.	2.62	0.172E 07	1.169	857.	1.72	2.16	1.30
14.3	46.1	323.3	6.40	74.0	1629.	2.82	0.193E 07	1.204	993.	1.66	2.06	1.29
17.4	49.1	375.4	6.37	82.2	1611.	3.66	0.211E 07	1.196	1149.	1.65	1.97	1.27
20.6	52.1	430.3	6.33	91.2	1592.	3.33	0.226E 07	1.158	1316.	1.67	1.89	1.26
23.8	55.2	481.1	6.29	100.6	1556.	3.94	0.236E 07	1.106	1619.	1.77	1.87	1.32
26.9	58.0	524.5	6.24	111.1	1544.	4.21	0.247E 07	1.052	1778.	1.81	1.79	1.31
30.1	61.1	579.3	6.20	121.6	1530.	4.53	0.253E 07	0.998	1937.	1.85	1.72	1.30
33.3	64.3	636.1	6.15	132.9	1513.	4.98	0.256E 07	0.948	2139.	1.92	1.69	1.32
36.4	67.6	692.1	6.10	144.4	1503.	5.48	0.258E 07	0.906	2342.	1.98	1.69	1.35
39.6	71.0	749.1	6.04	156.1	1493.	5.85	0.259E 07	0.871	2480.	2.01	1.67	1.36
42.8	74.3	810.1	5.98	168.0	1483.	6.29	0.258E 07	0.845	2632.	2.05	1.67	1.38
45.9	77.8	863.5	5.93	180.0	1479.	6.55	0.256E 07	0.825	2696.	2.05	1.64	1.38
49.1	81.2	920.9	5.87	192.2	1475.	6.84	0.254E 07	0.807	2749.	2.05	1.63	1.38
52.3	84.7	977.0	5.80	204.0	1475.	6.95	0.251E 07	0.786	2706.	2.01	1.60	1.36
55.5	88.1	1037.7	5.74	217.0	1460.	7.78	0.247E 07	0.774	2939.	2.08	1.67	1.44
58.6	91.5	1096.4	5.68	229.5	1461.	7.90	0.244E 07	0.764	2892.	2.04	1.65	1.43
61.8	94.8	1157.6	5.61	242.2	1457.	8.24	0.240E 07	0.756	2928.	2.04	1.66	1.44
65.0	98.2	1215.7	5.54	255.0	1453.	8.67	0.237E 07	0.751	2991.	2.05	1.69	1.47
68.1	101.5	1271.0	5.47	268.1	1464.	8.75	0.237E 07	0.735	2929.	2.01	1.68	1.47
71.3	104.8	1327.8	5.39	281.6	1488.	8.60	0.233E 07	0.731	2794.	1.93	1.63	1.43
74.5	108.0	1385.9	5.31	295.3	1477.	9.60	0.230E 07	0.727	3030.	2.02	1.73	1.53
77.6	111.2	1447.7	5.23	309.4	1482.	9.41	0.227E 07	0.725	2889.	1.99	1.69	1.49
80.8	114.3	1510.4	5.15	323.9	1476.	10.11	0.224E 07	0.722	3022.	1.99	1.75	1.55
84.0	117.4	1576.2	5.06	338.8	1480.	9.95	0.221E 07	0.720	2899.	1.93	1.71	1.52
87.1	120.4	1647.1	4.97	354.2	1484.	9.79	0.218E 07	0.718	2783.	1.87	1.68	1.49
90.3	123.4	1716.8	4.88	370.3	1488.	9.70	0.215E 07	0.717	2695.	1.82	1.65	1.46
93.5	126.3	1781.5	4.78	387.2	1491.	9.61	0.213E 07	0.719	2626.	1.78	1.62	1.44
96.6	129.2	1847.9	4.67	405.0	1495.	9.42	0.210E 07	0.721	2533.	1.73	1.59	1.41

RUN 18-6

MASS FLOW 33.9 G/S T-IN 27.5 K T-OUT 105.2 K P-IN 6.93 MPa P-OUT 4.03 MPa HEAT BALANCE 9.1 %												
X/D	TB	TW	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	HEAT BALANCE		INTL
										BUCK	FILM	
4.8	33.7	140.4	6.84	56.6	1163.	10.90	0.145E 07	0.945	2920.	3.45	3.66	2.54
7.9	36.1	161.1	6.82	70.1	1192.	9.64	0.163E 07	1.009	2698.	2.92	3.33	2.31
11.1	38.9	199.1	6.79	73.9	1228.	7.67	0.180E 07	1.064	2249.	2.40	2.72	1.95
14.3	41.1	211.0	6.77	78.1	1230.	7.29	0.196E 07	1.112	2243.	2.49	2.54	1.85
17.4	43.3	236.3	6.74	82.9	1300.	5.14	0.213E 07	1.149	1659.	1.77	2.01	1.46
20.6	45.4	346.8	6.70	88.4	1332.	4.39	0.229E 07	1.174	1486.	1.58	1.81	1.30
23.8	47.5	459.5	6.67	94.5	1336.	4.34	0.245E 07	1.183	1536.	1.52	1.73	1.25
26.9	49.5	582.4	6.63	101.1	1350.	4.66	0.259E 07	1.176	1498.	1.42	1.62	1.17
30.1	51.5	709.6	6.59	108.4	1365.	4.81	0.273E 07	1.156	1459.	1.39	1.52	1.09
33.3	53.5	836.5	6.54	116.2	1347.	4.17	0.284E 07	1.127	1649.	1.43	1.50	1.11
36.4	55.5	933.9	6.49	124.5	1394.	5.01	0.294E 07	1.094	2032.	1.58	1.59	1.23
39.6	57.7	1114.7	6.44	133.5	1383.	5.38	0.302E 07	1.058	2230.	1.63	1.58	1.24
42.8	59.8	1295.4	6.39	132.9	1371.	5.82	0.309E 07	1.022	2448.	1.69	1.56	1.26
45.9	62.0	1521.6	6.33	152.6	1356.	6.43	0.314E 07	0.986	2726.	1.76	1.61	1.31
49.1	64.2	1707.5	6.27	162.0	1341.	7.20	0.318E 07	0.952	3064.	1.86	1.67	1.37
52.3	66.4	1916.1	6.20	172.4	1344.	7.69	0.320E 07	0.921	3022.	1.83	1.60	1.33
55.5	68.7	2073.3	6.14	183.5	1308.	9.44	0.322E 07	0.895	4013.	2.13	1.88	1.60
58.6	70.9	2301.6	6.07	194.2	1307.	9.64	0.323E 07	0.872	4081.	2.14	1.86	1.59
61.8	73.2	198.4	5.99	205.3	1301.	10.38	0.323E 07	0.853	4367.	2.22	1.91	1.65
65.0	75.5	184.1	5.92	216.6	1288.	11.86	0.323E 07	0.836	4947.	2.39	2.07	1.80
68.1	77.8	189.9	5.84	228.3	1309.	11.68	0.323E 07	0.823	4825.	2.35	2.00	1.75
71.3	80.1	199.2	5.76	240.4	1309.	11.89	0.320E 07	0.812	4858.	2.35	1.99	1.74
74.5	82.4	169.7	5.67	252.9	1292.	14.78	0.318E 07	0.797	5924.	2.68	2.32	2.07
77.6	84.6	162.4	5.58	265.7	1353.	13.33	0.316E 07	0.785	5241.	2.46	2.10	1.86
80.8	86.9	166.0	5.49	278.9	1288.	16.28	0.313E 07	0.775	6279.	2.78	2.43	2.18
84.0	89.1	169.5	5.39	292.0	1291.	16.66	0.311E 07	0.767	6077.	2.71	2.37	2.12
87.1	91.3	173.1	5.29	305.0	1295.	15.83	0.308E 07	0.760	5882.	2.65	2.31	2.07
90.3	93.5	183.2	5.18	321.7	1304.	14.52	0.306E 07	0.754	5300.	2.45	2.12	1.89
93.5	95.6	193.4	5.06	337.4	1312.	13.41	0.303E 07	0.750	4808.	2.29	1.96	1.75
96.6	97.7	203.7	4.95	353.9	1321.	12.46	0.300E 07	0.747	4389.	2.14	1.86	1.63

RUN 18-7

MASS FLOW 31.9 G/S T-IN 27.4 K T-OUT 117.8 K P-IN 7.01 HPA P-OUT 4.06 MPA HEAT BALANCE 1.0												
X7D	YB	YW	P	U	O	HX	RF	PR	NU	BULK	FILM	INTL
4.8	34.7	156.0	6.92	63.3	1305.	10.73	0.140E 07	0.959	2894.	3.67	3.90	2.69
7.9	37.5	214.1	6.90	67.6	1364.	7.72	0.159E 07	1.029	2196.	2.76	2.98	2.12
11.1	40.4	286.0	6.88	71.8	1418.	5.77	0.178E 07	1.091	1736.	2.72	2.44	1.74
14.3	43.0	331.9	6.85	77.0	1447.	5.01	0.197E 07	1.136	1596.	1.95	2.19	1.57
17.4	45.6	470.5	6.82	83.0	1522.	3.58	0.215E 07	1.166	1207.	1.60	1.89	1.25
20.6	48.1	568.9	6.78	89.4	1550.	3.19	0.232E 07	1.174	1134.	1.47	1.76	1.16
23.8	50.6	476.4	6.74	97.5	1525.	3.57	0.248E 07	1.159	1328.	1.50	1.70	1.16
26.9	53.0	451.9	6.70	105.8	1513.	3.79	0.262E 07	1.130	1470.	1.52	1.65	1.15
30.1	55.4	425.7	6.65	114.5	1500.	4.05	0.273E 07	1.093	1620.	1.54	1.59	1.15
33.3	57.9	372.4	6.60	123.7	1471.	4.68	0.282E 07	1.054	1916.	1.63	1.59	1.21
36.4	60.4	328.3	6.55	133.4	1437.	5.53	0.288E 07	1.014	2300.	1.77	1.65	1.30
39.6	62.9	309.2	6.50	143.5	1470.	5.97	0.293E 07	0.974	2502.	1.83	1.64	1.32
42.8	65.5	289.9	6.44	153.9	1457.	6.49	0.297E 07	0.937	2730.	1.89	1.65	1.35
45.9	68.1	272.8	6.38	164.6	1445.	7.06	0.299E 07	0.905	2965.	1.95	1.68	1.39
49.1	70.8	255.6	6.31	175.5	1433.	7.75	0.300E 07	0.878	3239.	2.03	1.72	1.44
52.3	73.5	238.6	6.25	186.8	1435.	7.75	0.300E 07	0.856	3213.	2.00	1.66	1.40
55.5	76.2	220.8	6.18	198.1	1407.	9.73	0.299E 07	0.838	3991.	2.25	1.88	1.62
58.6	78.9	223.1	6.11	209.7	1409.	9.77	0.298E 07	0.823	3960.	2.23	1.84	1.59
61.8	81.6	217.7	6.03	221.5	1404.	10.32	0.296E 07	0.807	4104.	2.26	1.67	1.63
65.0	84.3	206.3	5.96	233.5	1395.	11.43	0.294E 07	0.792	4442.	2.66	1.57	1.73
68.1	87.0	210.3	5.88	245.9	1423.	11.54	0.291E 07	0.780	4382.	2.35	1.96	1.72
71.3	89.7	212.9	5.80	258.7	1426.	11.57	0.288E 07	0.770	4291.	2.30	1.92	1.69
74.5	92.4	193.7	5.71	271.7	1409.	13.91	0.285E 07	0.762	5043.	2.55	2.18	1.94
77.6	95.0	208.1	5.62	285.1	1422.	12.57	0.282E 07	0.756	4456.	2.34	1.98	1.76
80.8	97.6	193.0	5.53	299.0	1409.	14.78	0.279E 07	0.751	5124.	2.57	2.22	1.99
84.0	100.2	197.1	5.43	313.2	1412.	14.58	0.280E 07	0.737	4944.	2.48	2.17	1.94
87.1	102.7	201.1	5.33	328.1	1416.	14.39	0.278E 07	0.733	4774.	2.41	2.12	1.89
90.3	105.2	210.9	5.22	343.5	1424.	13.48	0.275E 07	0.729	4379.	2.27	1.99	1.77
93.5	107.7	220.6	5.11	359.8	1432.	12.67	0.272E 07	0.726	4033.	2.13	1.87	1.67
96.6	110.1	230.2	4.99	376.9	1439.	11.98	0.269E 07	0.724	3737.	2.02	1.76	1.58

RUN 18-8

MASS FLOW 34.0 G/S T-IN 27.8 K T-OUT 123.8 K P-IN 7.83 HPA P-OUT 4.47 MPA HEAT BALANCE 1.2												
X7D	YB	YW	P	U	O	HX	RF	PR	NU	BULK	FILM	INTL
4.8	35.3	163.1	7.73	68.8	1514.	11.84	0.151E 07	0.958	3142.	3.79	3.75	2.66
7.9	38.6	217.0	7.70	73.1	1572.	8.81	0.172E 07	1.018	2465.	2.93	2.94	2.16
11.1	41.6	286.7	7.67	78.0	1628.	6.64	0.192E 07	1.067	1965.	2.35	2.42	1.76
14.3	44.5	350.9	7.64	83.6	1659.	5.79	0.212E 07	1.101	1810.	2.07	2.18	1.58
17.4	47.3	455.8	7.60	90.0	1732.	4.74	0.231E 07	1.120	1398.	1.72	1.90	1.28
20.6	50.0	531.9	7.56	97.2	1769.	3.67	0.249E 07	1.121	1272.	1.56	1.72	1.14
23.8	52.7	506.6	7.52	105.3	1757.	3.87	0.265E 07	1.104	1401.	1.55	1.66	1.13
26.9	55.4	482.6	7.47	114.0	1746.	4.19	0.278E 07	1.077	1533.	1.55	1.61	1.12
30.1	58.1	450.9	7.41	123.2	1734.	4.32	0.289E 07	1.044	1670.	1.57	1.57	1.11
33.3	60.8	411.5	7.36	132.6	1738.	4.87	0.298E 07	1.007	1916.	1.64	1.55	1.15
36.4	63.5	359.8	7.30	142.9	1730.	5.84	0.304E 07	0.971	2322.	1.79	1.61	1.26
39.6	66.2	330.7	7.23	153.5	1712.	6.48	0.309E 07	0.937	2588.	1.85	1.62	1.30
42.8	69.2	301.5	7.17	164.4	1692.	7.28	0.312E 07	0.907	2913.	1.94	1.66	1.36
45.9	72.3	287.5	7.10	175.5	1682.	7.81	0.314E 07	0.881	3113.	1.99	1.67	1.39
49.1	74.9	274.2	7.03	186.9	1673.	8.39	0.315E 07	0.860	3325.	2.04	1.69	1.42
52.3	77.8	263.2	6.95	198.4	1666.	8.89	0.314E 07	0.842	3490.	2.07	1.70	1.45
55.5	80.7	237.2	6.87	210.2	1644.	10.50	0.313E 07	0.826	4067.	2.24	1.85	1.59
58.6	83.6	234.4	6.79	222.2	1642.	10.88	0.312E 07	0.807	4122.	2.24	1.85	1.61
61.8	86.4	227.6	6.71	234.3	1636.	11.59	0.310E 07	0.793	4290.	2.28	1.89	1.65
65.0	89.3	212.7	6.62	246.7	1628.	13.16	0.307E 07	0.781	4762.	2.42	2.04	1.79
68.1	92.7	221.1	6.53	259.4	1656.	12.84	0.304E 07	0.771	4543.	2.35	1.97	1.74
71.3	95.0	223.4	6.44	272.6	1659.	12.72	0.301E 07	0.764	4388.	2.29	1.93	1.70
74.5	97.8	209.3	6.34	286.0	1645.	14.88	0.298E 07	0.756	5030.	2.49	2.14	1.90
77.6	100.6	215.4	6.24	299.8	1651.	14.37	0.300E 07	0.742	4752.	2.37	2.05	1.82
80.8	103.3	202.2	6.13	314.1	1639.	16.57	0.297E 07	0.737	5357.	2.56	2.27	2.02
84.0	105.9	207.3	6.02	328.0	1644.	16.22	0.294E 07	0.733	5132.	2.48	2.20	1.96
87.1	108.6	212.4	5.91	344.1	1648.	15.88	0.291E 07	0.730	4910.	2.40	2.14	1.91
90.3	111.2	220.1	5.79	360.2	1655.	15.19	0.288E 07	0.727	4608.	2.28	2.04	1.82
93.5	113.7	227.8	5.68	377.0	1661.	14.55	0.286E 07	0.725	4328.	2.18	1.96	1.74
96.6	116.2	235.9	5.53	394.9	1668.	13.93	0.283E 07	0.723	4066.	2.08	1.87	1.67

RUN 24-2

MASS FLOW 20.9 G/S T-IN 30.0 K T-OUT 97.3 K P-IN 4.83 MPA P-OUT 4.57 MPA HEAT BALANCE 1.9 %												
X/D	TB	TW	P	U	Q	HX	RF	PR	NU	BULK	HX-EXP / HX-CAL	INTL
3.8	34.2	431.7	4.82	27.4	591.	1.49	0.827E 06	1.053	557.	1.86	2.41	1.47
6.3	36.6	479.4	4.82	29.2	610.	1.33	0.929E 06	1.154	527.	1.61	2.27	1.37
8.8	38.7	525.4	4.81	31.4	634.	1.14	0.103E 07	1.253	480.	1.40	2.08	1.24
11.3	40.7	648.3	4.81	33.8	645.	1.06	0.114E 07	1.340	477.	1.28	1.94	1.15
13.8	42.5	626.2	4.80	36.6	641.	1.10	0.124E 07	1.392	523.	1.26	1.84	1.12
16.3	44.3	591.8	4.80	39.7	633.	1.16	0.133E 07	1.404	583.	1.22	1.76	1.10
18.8	45.9	521.5	4.79	43.0	616.	1.30	0.142E 07	1.381	685.	1.26	1.71	1.11
21.3	47.6	473.0	4.79	46.5	604.	1.42	0.149E 07	1.338	781.	1.29	1.66	1.11
23.8	49.2	436.1	4.78	50.1	593.	1.53	0.155E 07	1.284	871.	1.33	1.59	1.11
26.3	50.9	400.6	4.77	53.9	582.	1.66	0.160E 07	1.226	970.	1.37	1.54	1.11
28.8	52.7	383.7	4.77	57.9	587.	1.77	0.164E 07	1.168	1055.	1.43	1.51	1.12
31.3	54.5	375.5	4.76	62.0	584.	1.82	0.167E 07	1.111	1098.	1.45	1.45	1.09
33.8	56.4	365.3	4.75	66.3	580.	1.88	0.169E 07	1.058	1144.	1.47	1.41	1.07
36.3	58.4	357.9	4.74	70.6	578.	1.93	0.171E 07	1.011	1180.	1.48	1.36	1.05
38.8	60.5	347.1	4.74	74.9	574.	2.00	0.172E 07	0.967	1222.	1.50	1.33	1.04
41.3	62.6	331.0	4.73	79.4	575.	1.99	0.172E 07	0.929	1210.	1.48	1.28	1.01
43.8	64.7	320.6	4.72	83.9	575.	2.01	0.172E 07	0.896	1209.	1.48	1.24	0.98
46.3	67.0	347.0	4.71	88.4	574.	2.05	0.171E 07	0.869	1218.	1.47	1.21	0.97
48.8	69.7	344.3	4.70	92.9	573.	2.08	0.170E 07	0.847	1221.	1.47	1.18	0.95
51.3	71.6	344.6	4.69	97.4	573.	2.10	0.169E 07	0.829	1213.	1.45	1.15	0.93
53.8	73.9	345.9	4.69	101.9	568.	2.09	0.167E 07	0.815	1189.	1.42	1.12	0.91
56.3	76.2	346.4	4.68	106.3	569.	2.11	0.165E 07	0.804	1178.	1.40	1.09	0.89
58.8	78.6	345.1	4.67	110.8	568.	2.13	0.163E 07	0.796	1172.	1.39	1.07	0.88
61.3	80.9	343.1	4.66	115.2	567.	2.16	0.161E 07	0.786	1164.	1.37	1.06	0.88
63.8	83.3	341.0	4.65	119.6	567.	2.20	0.159E 07	0.776	1153.	1.35	1.05	0.87
66.3	85.7	331.2	4.64	123.9	570.	2.15	0.157E 07	0.767	1098.	1.31	1.02	0.84
68.8	88.0	336.2	4.63	128.2	565.	2.28	0.155E 07	0.760	1134.	1.32	1.03	0.86
71.3	90.4	334.1	4.62	132.5	566.	2.28	0.153E 07	0.755	1106.	1.29	1.01	0.85
73.8	92.7	331.0	4.62	136.7	568.	2.36	0.151E 07	0.750	1120.	1.29	1.02	0.86
76.3	95.0	337.9	4.61	140.9	565.	2.33	0.149E 07	0.747	1078.	1.25	0.99	0.84

RUN 24-3

MASS FLOW 50.4 G/S T-IN 27.9 K T-OUT 57.4 K P-IN 5.06 MPA P-OUT 4.52 MPA HEAT BALANCE -2.0 %												
X/D	TB	TW	P	U	Q	HX	RF	PR	NU	BULK	HX-EXP / HX-CAL	INTL
3.8	29.7	163.5	5.03	60.1	549.	4.11	0.150E 07	0.873	1406.	1.87	2.16	1.33
6.3	30.8	169.3	5.02	61.3	554.	4.10	0.167E 07	0.912	1391.	1.74	2.10	1.31
8.8	31.8	181.3	5.02	62.5	565.	3.78	0.176E 07	0.950	1336.	1.61	1.99	1.26
11.3	33.0	193.5	5.01	64.0	575.	3.58	0.186E 07	0.994	1293.	1.49	1.89	1.22
13.8	34.1	233.1	5.00	65.7	603.	3.33	0.196E 07	1.035	1121.	1.33	1.67	1.10
16.3	35.2	243.1	4.99	67.4	616.	2.93	0.206E 07	1.077	1111.	1.25	1.62	1.08
18.8	36.2	274.9	4.99	69.3	629.	2.64	0.217E 07	1.118	1023.	1.15	1.51	1.02
21.3	37.2	302.6	4.98	71.3	645.	2.43	0.227E 07	1.160	967.	1.08	1.43	0.97
23.8	38.1	337.5	4.97	73.4	662.	2.21	0.238E 07	1.202	904.	1.00	1.36	0.91
26.3	39.0	369.5	4.95	75.7	677.	2.05	0.249E 07	1.242	861.	0.94	1.30	0.87
28.8	40.0	398.3	4.94	78.4	759.	2.12	0.261E 07	1.283	916.	0.98	1.38	0.92
31.3	40.9	426.6	4.93	81.4	770.	2.00	0.273E 07	1.323	891.	0.94	1.33	0.88
33.8	41.8	426.4	4.92	84.6	770.	2.00	0.285E 07	1.353	921.	0.91	1.30	0.86
36.3	42.7	412.6	4.90	88.0	764.	2.07	0.297E 07	1.375	980.	0.91	1.28	0.86
38.8	43.5	384.6	4.88	91.5	753.	2.21	0.309E 07	1.388	1076.	0.91	1.26	0.87
41.3	44.3	366.5	4.87	95.2	745.	2.31	0.320E 07	1.392	1157.	0.92	1.25	0.88
43.8	45.1	338.8	4.85	99.1	732.	2.49	0.330E 07	1.388	1280.	0.94	1.25	0.90
46.3	45.9	317.1	4.83	103.1	722.	2.66	0.340E 07	1.377	1396.	0.96	1.25	0.91
48.8	46.7	301.5	4.81	107.2	714.	2.80	0.349E 07	1.362	1504.	0.98	1.24	0.92
51.3	47.4	290.5	4.79	111.4	708.	2.91	0.358E 07	1.342	1595.	0.99	1.23	0.92
53.8	48.2	282.2	4.77	115.7	676.	2.89	0.366E 07	1.320	1612.	0.97	1.18	0.89
56.3	48.9	275.7	4.75	120.0	672.	2.97	0.373E 07	1.297	1682.	0.98	1.17	0.89
58.8	49.6	264.2	4.73	124.4	666.	3.10	0.379E 07	1.272	1787.	1.06	1.17	0.89
61.3	50.4	254.9	4.71	129.3	660.	3.26	0.386E 07	1.247	1883.	1.02	1.16	0.90
63.8	51.1	247.2	4.69	133.6	655.	3.34	0.391E 07	1.221	1974.	1.04	1.16	0.91
66.3	51.8	236.5	4.67	138.3	649.	3.51	0.396E 07	1.195	2097.	1.06	1.17	0.92
68.8	52.6	236.8	4.64	143.2	649.	3.52	0.401E 07	1.169	2123.	1.07	1.15	0.91
71.3	53.3	231.4	4.62	148.1	645.	3.62	0.406E 07	1.143	2204.	1.08	1.15	0.91
73.8	54.1	226.6	4.60	153.2	642.	3.72	0.410E 07	1.117	2281.	1.10	1.14	0.91
76.3	54.9	236.6	4.57	158.4	647.	3.62	0.413E 07	1.096	2230.	1.09	1.10	0.88

MUN 28-1

MASS FLOW 72.6 G/S T-IN 28.5 K T-OUT 54.5 K P-IN 5.49 MPA P-OUT 4.41 MPA HEAT BALANCE -1.9 %												
HX-EXP / HX-CAL												
X/D	TB	TH	P	U	Q	HX	RF	PR	NU	BULK	FILM	INTL
3.8	29.9	155.1	5.43	85.7	704.	6.69	0.223E 07	0.868	2264.	2.05	2.28	1.40
6.3	30.9	146.3	5.41	87.2	714.	6.35	0.234E 07	0.902	2179.	1.90	2.21	1.41
8.8	31.8	178.8	5.40	88.7	749.	5.28	0.245E 07	0.935	1838.	1.67	1.95	1.25
11.3	32.9	187.8	5.39	90.7	764.	4.93	0.259E 07	0.973	1752.	1.54	1.84	1.20
13.8	34.0	179.9	5.37	92.7	756.	5.18	0.272E 07	1.009	1876.	1.50	1.88	1.24
16.3	34.9	197.9	5.36	94.8	774.	4.75	0.285E 07	1.042	1754.	1.38	1.75	1.17
18.8	35.9	208.0	5.34	97.0	783.	4.55	0.297E 07	1.076	1717.	1.31	1.67	1.13
21.3	36.8	208.0	5.32	99.3	802.	4.17	0.310E 07	1.109	1609.	1.22	1.57	1.07
23.8	37.6	243.7	5.31	101.8	814.	3.95	0.323E 07	1.142	1557.	1.15	1.50	1.03
26.3	38.5	256.3	5.29	104.4	824.	3.78	0.336E 07	1.175	1525.	1.10	1.44	1.00
28.8	39.3	272.9	5.27	107.3	902.	3.86	0.350E 07	1.208	1595.	1.13	1.50	1.04
31.3	40.2	301.4	5.25	110.5	922.	3.53	0.365E 07	1.243	1494.	1.06	1.41	0.98
33.8	41.0	319.0	5.23	113.9	933.	3.36	0.379E 07	1.273	1458.	1.01	1.36	0.95
36.3	41.8	344.1	5.20	117.6	949.	3.14	0.394E 07	1.300	1398.	0.96	1.30	0.90
38.8	42.5	352.5	5.17	121.6	954.	3.08	0.408E 07	1.322	1407.	0.94	1.26	0.88
41.3	43.3	373.3	5.15	125.7	965.	2.93	0.423E 07	1.339	1372.	0.91	1.22	0.85
43.8	44.0	363.8	5.12	130.2	960.	3.00	0.437E 07	1.351	1444.	0.90	1.20	0.85
46.3	44.8	350.4	5.09	134.8	952.	3.12	0.451E 07	1.356	1534.	0.91	1.19	0.85
48.8	45.4	332.8	5.06	139.6	942.	3.28	0.465E 07	1.356	1652.	0.92	1.19	0.86
51.3	46.1	322.0	5.02	144.6	935.	3.39	0.478E 07	1.351	1746.	0.92	1.18	0.86
53.8	46.8	307.7	4.99	149.8	906.	3.47	0.490E 07	1.342	1826.	0.92	1.16	0.85
56.3	47.4	291.8	4.96	155.0	896.	3.66	0.501E 07	1.330	1964.	0.94	1.16	0.87
58.8	48.0	261.7	4.92	160.4	874.	4.09	0.512E 07	1.316	2232.	0.98	1.21	0.91
61.3	48.6	254.4	4.88	165.9	869.	4.22	0.522E 07	1.299	2342.	0.99	1.21	0.92
63.8	49.2	248.7	4.84	171.6	864.	4.33	0.532E 07	1.282	2444.	1.01	1.20	0.92
66.3	49.9	263.0	4.80	177.6	875.	4.11	0.541E 07	1.263	2350.	0.99	1.15	0.88
68.8	50.5	235.9	4.76	183.7	854.	4.60	0.550E 07	1.243	2673.	1.04	1.20	0.93
71.3	51.0	224.9	4.72	190.0	845.	4.86	0.559E 07	1.223	2858.	1.07	1.22	0.96
73.8	51.6	221.9	4.68	196.4	842.	4.95	0.566E 07	1.202	2945.	1.08	1.21	0.95
76.3	52.2	226.6	4.63	203.1	844.	4.92	0.574E 07	1.181	2965.	1.08	1.19	0.94

MUN 28-2

MASS FLOW 68.4 G/S T-IN 28.3 K T-OUT 70.0 K P-IN 5.95 MPA P-OUT 4.41 MPA HEAT BALANCE -3.6 %												
HX-EXP / HX-CAL												
X/D	TB	TH	P	U	Q	HX	RF	PR	NU	BULK	FILM	INTL
3.8	30.3	204.3	5.09	80.8	1081.	6.21	0.210E 07	0.870	2077.	2.49	2.41	1.57
6.3	31.9	291.3	5.87	83.0	1128.	5.14	0.226E 07	0.921	1759.	2.12	2.12	1.40
8.8	33.7	341.7	5.66	85.9	1202.	3.90	0.246E 07	0.977	1376.	1.75	1.86	1.21
11.3	35.4	409.7	5.84	89.1	1248.	3.34	0.265E 07	1.026	1214.	1.53	1.74	1.11
13.8	37.0	460.3	5.82	92.5	1278.	3.02	0.285E 07	1.077	1137.	1.39	1.69	1.05
16.3	38.5	595.6	5.79	96.3	1344.	2.41	0.305E 07	1.124	941.	1.21	1.56	0.96
18.8	40.0	630.9	5.77	100.4	1359.	2.30	0.325E 07	1.170	931.	1.13	1.50	0.89
21.3	41.3	619.4	5.74	104.9	1355.	2.34	0.345E 07	1.211	984.	1.09	1.46	0.88
23.8	42.6	560.3	5.71	109.7	1329.	2.57	0.364E 07	1.243	1116.	1.09	1.46	0.91
26.3	43.8	495.7	5.68	114.8	1297.	2.87	0.383E 07	1.266	1292.	1.10	1.46	0.94
28.8	44.9	457.4	5.65	120.1	1296.	3.15	0.401E 07	1.279	1463.	1.13	1.47	0.97
31.3	46.0	444.5	5.62	125.6	1290.	3.24	0.418E 07	1.283	1553.	1.12	1.44	0.97
33.8	47.1	420.2	5.58	131.8	1276.	3.42	0.434E 07	1.279	1688.	1.13	1.41	0.96
36.3	48.2	401.6	5.54	138.1	1265.	3.58	0.449E 07	1.267	1814.	1.15	1.38	0.98
38.8	49.2	379.9	5.51	144.6	1250.	3.78	0.463E 07	1.250	1965.	1.16	1.37	0.99
41.3	50.2	378.4	5.46	151.5	1246.	3.86	0.476E 07	1.230	2049.	1.17	1.34	0.98
43.8	51.2	361.0	5.42	158.6	1238.	3.99	0.488E 07	1.206	2162.	1.19	1.32	0.97
46.3	52.3	344.5	5.38	166.0	1226.	4.19	0.499E 07	1.181	2317.	1.21	1.31	0.98
48.8	53.3	328.4	5.33	173.7	1214.	4.41	0.509E 07	1.155	2478.	1.24	1.30	0.99
51.3	54.3	321.8	5.28	181.6	1209.	4.92	0.517E 07	1.129	2574.	1.25	1.28	0.99
53.8	55.3	317.3	5.23	189.7	1163.	4.43	0.525E 07	1.103	2556.	1.22	1.22	0.94
56.3	56.3	300.6	5.10	197.9	1150.	4.70	0.532E 07	1.077	2743.	1.25	1.22	0.96
58.8	57.3	294.7	5.03	206.3	1145.	4.82	0.538E 07	1.053	2836.	1.27	1.21	0.96
61.3	58.3	289.5	5.07	214.9	1140.	4.93	0.544E 07	1.029	2924.	1.28	1.20	0.96
63.8	59.3	286.2	5.02	223.9	1139.	5.11	0.549E 07	1.005	2992.	1.29	1.19	0.95
66.3	60.3	327.8	4.96	233.2	1171.	4.38	0.553E 07	0.981	2622.	1.22	1.09	0.86
68.8	61.3	280.0	4.90	242.6	1132.	5.18	0.557E 07	0.959	3111.	1.31	1.16	0.94
71.3	62.3	284.3	4.84	252.7	1136.	5.12	0.560E 07	0.938	3080.	1.30	1.14	0.92
73.8	63.3	270.3	4.77	262.8	1124.	5.43	0.563E 07	0.919	3273.	1.34	1.15	0.95
76.3	64.3	267.5	4.71	273.2	1122.	5.52	0.565E 07	0.901	3327.	1.35	1.15	0.94

RUN 30-3

X/D	MASS FLOW 16.1 G/S			T-IN	36.3 K	T-OUT	44.8 K	P-IN	2.27 MPA	P-OUT	2.18 MPA	HEAT BALANCE		-0.9 K
	TG	TH	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	BULK	FILM	INTL		
3.8	31.1	147.6	2.27	22.0	157.	1.31	0.689E 06	1.193	534.	1.12	2.47	1.00		
6.3	31.8	173.0	2.27	22.6	160.	1.33	0.722E 06	1.274	474.	1.01	2.60	1.52		
8.8	32.4	195.1	2.27	23.2	166.	1.02	0.756E 06	1.369	438.	0.93	2.54	1.42		
11.3	33.1	214.3	2.26	24.3	170.	0.94	0.801E 06	1.510	419.	0.85	2.14	1.65		
13.8	33.7	228.0	2.26	24.9	173.	0.89	0.844E 06	1.660	410.	0.79	2.52	1.29		
16.3	34.3	249.7	2.26	25.8	178.	0.83	0.889E 06	1.837	395.	0.73	1.88	1.23		
18.8	34.8	252.7	2.26	26.8	178.	0.82	0.935E 06	2.039	406.	0.69	1.82	1.20		
21.3	35.2	260.8	2.26	27.9	180.	0.80	0.983E 06	2.258	411.	0.65	1.74	1.10		
23.8	35.6	255.5	2.26	29.2	179.	0.81	0.103E 07	2.481	436.	0.63	1.70	1.15		
26.3	36.0	246.8	2.26	30.5	177.	0.84	0.108E 07	2.605	468.	0.61	1.66	1.14		
28.8	36.3	239.4	2.25	31.9	182.	0.89	0.113E 07	2.850	518.	0.62	1.70	1.17		
31.3	36.6	235.1	2.25	33.5	181.	0.91	0.118E 07	2.958	547.	0.62	1.66	1.15		
33.8	36.9	225.8	2.25	35.2	179.	0.95	0.123E 07	3.002	590.	0.62	1.64	1.14		
36.3	37.2	218.9	2.25	36.9	177.	0.98	0.128E 07	2.990	630.	0.63	1.61	1.13		
38.8	37.5	210.6	2.24	38.8	175.	1.01	0.132E 07	2.932	675.	0.65	1.59	1.12		
41.3	37.8	209.2	2.24	40.7	175.	1.02	0.137E 07	2.841	702.	0.66	1.54	1.09		
43.8	38.1	203.3	2.24	42.6	174.	1.05	0.141E 07	2.727	744.	0.68	1.52	1.08		
46.3	38.4	196.2	2.23	44.9	172.	1.09	0.149E 07	2.598	791.	0.70	1.50	1.08		
48.8	38.7	190.4	2.23	47.1	171.	1.12	0.149E 07	2.460	836.	0.72	1.49	1.07		
51.3	39.0	189.1	2.23	49.3	170.	1.13	0.153E 07	2.318	862.	0.74	1.45	1.05		
53.8	39.4	185.6	2.22	51.7	169.	1.16	0.157E 07	2.176	896.	0.76	1.42	1.03		
56.3	39.8	179.9	2.22	54.1	167.	1.20	0.161E 07	2.039	943.	0.79	1.41	1.03		
58.8	40.2	177.0	2.22	56.5	167.	1.21	0.164E 07	1.911	973.	0.81	1.38	1.01		
61.3	40.6	169.8	2.21	59.0	165.	1.27	0.167E 07	1.791	1036.	0.85	1.39	1.02		
63.8	41.0	172.3	2.21	61.6	165.	1.26	0.170E 07	1.681	1037.	0.86	1.34	0.99		
66.3	41.5	171.9	2.21	64.2	165.	1.27	0.172E 07	1.581	1054.	0.88	1.30	0.97		
68.8	42.0	160.2	2.20	66.9	164.	1.30	0.174E 07	1.491	1091.	0.91	1.29	0.97		
71.3	42.5	166.4	2.20	69.6	164.	1.32	0.176E 07	1.410	1116.	0.93	1.27	0.96		
73.8	43.0	163.7	2.19	72.4	163.	1.35	0.178E 07	1.339	1147.	0.95	1.26	0.96		
76.3	43.6	162.0	2.19	75.2	163.	1.36	0.179E 07	1.276	1164.	0.97	1.24	0.94		

RUN 31-10

X/D	MASS FLOW 16.6 G/S			T-IN	26.3 K	T-OUT	55.5 K	P-IN	4.53 MPA	P-OUT	4.45 MPA	HEAT BALANCE		1.6 K
	TG	TH	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	BULK	FILM	INTL		
3.8	27.9	133.7	4.53	21.9	210.	1.98	0.552E 06	0.822	681.	1.99	2.34	1.40		
6.3	29.1	150.0	4.53	22.4	219.	1.76	0.587E 06	0.865	612.	1.76	2.18	1.31		
8.8	30.3	172.6	4.53	22.9	227.	1.59	0.624E 06	0.909	559.	1.58	2.01	1.23		
11.3	31.4	194.9	4.53	23.4	235.	1.44	0.661E 06	0.956	515.	1.42	1.85	1.15		
13.8	32.5	209.0	4.53	24.0	239.	1.36	0.699E 06	1.002	497.	1.32	1.74	1.11		
16.3	33.8	237.3	4.52	24.7	248.	1.22	0.747E 06	1.059	460.	1.19	1.60	1.05		
18.8	35.0	267.3	4.52	25.5	256.	1.10	0.792E 06	1.112	428.	1.09	1.50	0.99		
21.3	36.1	300.9	4.52	26.3	264.	1.00	0.838E 06	1.167	399.	1.00	1.40	0.93		
23.8	37.1	331.0	4.52	27.2	271.	0.92	0.884E 06	1.222	380.	0.93	1.33	0.89		
26.3	38.1	347.7	4.52	28.2	274.	0.89	0.931E 06	1.276	376.	0.88	1.28	0.86		
28.8	39.1	354.0	4.52	29.3	289.	0.92	0.979E 06	1.329	403.	0.88	1.31	0.86		
31.3	40.0	353.3	4.51	30.5	288.	0.93	0.103E 07	1.379	421.	0.86	1.28	0.87		
33.8	40.9	331.1	4.51	31.7	285.	0.98	0.108E 07	1.417	459.	0.85	1.26	0.88		
36.3	41.8	315.2	4.51	33.0	281.	1.03	0.112E 07	1.443	496.	0.85	1.25	0.86		
38.8	42.6	299.5	4.51	34.4	278.	1.08	0.117E 07	1.458	537.	0.85	1.24	0.89		
41.3	43.4	288.7	4.50	35.6	275.	1.12	0.121E 07	1.462	573.	0.86	1.23	0.89		
43.8	44.2	276.9	4.50	37.3	272.	1.17	0.125E 07	1.456	613.	0.87	1.21	0.89		
46.3	45.0	261.3	4.50	38.9	268.	1.24	0.129E 07	1.441	666.	0.88	1.21	0.90		
48.8	45.7	249.5	4.50	40.4	265.	1.30	0.132E 07	1.421	714.	0.90	1.21	0.90		
51.3	46.5	245.5	4.49	42.1	264.	1.33	0.136E 07	1.396	743.	0.91	1.19	0.90		
53.8	47.3	239.3	4.49	43.7	258.	1.34	0.139E 07	1.368	766.	0.90	1.16	0.88		
56.3	48.0	231.4	4.49	45.4	256.	1.39	0.141E 07	1.338	808.	0.92	1.15	0.88		
58.8	48.5	224.2	4.49	47.1	253.	1.45	0.144E 07	1.307	850.	0.94	1.15	0.88		
61.3	49.6	216.3	4.48	48.9	251.	1.51	0.146E 07	1.276	897.	0.96	1.15	0.89		
63.8	50.4	211.9	4.48	50.7	250.	1.55	0.148E 07	1.244	931.	0.97	1.14	0.89		
66.3	51.2	214.5	4.48	52.5	250.	1.53	0.150E 07	1.212	933.	0.97	1.11	0.87		
68.8	52.1	205.6	4.47	54.3	248.	1.61	0.152E 07	1.181	989.	1.00	1.12	0.89		
71.3	52.9	201.7	4.47	56.2	246.	1.66	0.153E 07	1.151	1022.	1.02	1.11	0.89		
73.8	53.8	195.4	4.47	58.1	244.	1.72	0.154E 07	1.122	1070.	1.04	1.12	0.90		
76.3	54.5	190.0	4.46	60.0	243.	1.78	0.155E 07	1.094	1112.	1.06	1.12	0.91		

RUN 31-11

X/D	MASS FLOW 18.7 G/S T-IN 26.3 K T-OUT 133.8 K				P-IN 4.74 MPA P-OUT 4.42 MPA				HEAT BALANCE 2.3 x			
	TU	IN	P	U	G	HX	RE	PR	NU	BULK	FILM	INTL
3.8	32.1	616.5	4.73	23.5	845.	1.44	0.672E 06	0.974	519.	2.68	3.43	1.68
6.3	38.2	690.4	4.73	26.0	855.	1.70	0.823E 06	1.147	544.	2.13	3.15	1.79
8.8	39.5	733.9	4.72	29.0	873.	1.26	0.968E 06	1.302	547.	1.84	2.83	1.63
11.3	42.3	766.5	4.72	32.7	881.	1.21	0.111E 07	1.405	579.	1.68	2.56	1.50
13.8	44.9	735.8	4.71	37.1	874.	1.26	0.124E 07	1.431	657.	1.64	2.36	1.42
16.3	47.5	717.2	4.70	42.1	869.	1.30	0.135E 07	1.346	721.	1.64	2.16	1.33
18.8	50.2	649.9	4.70	47.6	853.	1.42	0.143E 07	1.256	830.	1.69	2.03	1.30
21.3	53.1	629.4	4.69	53.5	848.	1.47	0.149E 07	1.155	886.	1.72	1.88	1.23
23.8	56.1	585.4	4.68	59.6	836.	1.58	0.153E 07	1.065	968.	1.77	1.78	1.20
26.3	59.3	546.8	4.67	66.0	825.	1.69	0.155E 07	0.989	1043.	1.81	1.70	1.18
28.8	62.6	526.8	4.66	72.4	820.	1.77	0.155E 07	0.925	1077.	1.81	1.61	1.14
31.3	66.1	524.1	4.65	78.0	819.	1.79	0.155E 07	0.876	1072.	1.79	1.53	1.10
33.8	69.3	516.9	4.64	85.4	817.	1.83	0.153E 07	0.840	1072.	1.77	1.46	1.06
36.3	72.5	513.4	4.63	91.8	816.	1.85	0.150E 07	0.816	1061.	1.76	1.40	1.03
38.8	77.2	499.9	4.62	98.3	811.	1.92	0.148E 07	0.799	1069.	1.71	1.36	1.02
41.3	81.0	514.6	4.61	104.6	816.	1.88	0.145E 07	0.785	1014.	1.64	1.30	0.97
43.8	84.9	522.1	4.59	110.9	818.	1.87	0.142E 07	0.769	966.	1.58	1.25	0.94
46.3	88.7	516.0	4.58	117.1	816.	1.91	0.139E 07	0.758	947.	1.53	1.22	0.93
48.8	92.4	510.4	4.57	123.2	815.	1.95	0.136E 07	0.750	928.	1.49	1.20	0.92
51.3	96.2	514.8	4.56	129.2	816.	1.95	0.133E 07	0.745	894.	1.46	1.17	0.90
53.8	99.9	513.4	4.55	135.1	820.	1.98	0.130E 07	0.742	876.	1.40	1.15	0.89
56.3	103.5	516.5	4.54	141.0	823.	1.99	0.130E 07	0.727	847.	1.35	1.13	0.88
58.8	107.2	505.9	4.53	146.7	818.	2.05	0.127E 07	0.724	843.	1.32	1.12	0.86
61.3	110.7	488.6	4.52	152.3	812.	2.15	0.125E 07	0.721	854.	1.31	1.12	0.89
63.8	114.2	505.7	4.51	157.8	818.	2.09	0.123E 07	0.720	803.	1.25	1.09	0.86
66.3	117.7	497.0	4.50	163.3	815.	2.15	0.121E 07	0.718	800.	1.26	1.08	0.86
68.8	121.1	504.0	4.49	168.7	816.	2.13	0.119E 07	0.716	770.	1.19	1.06	0.85
71.3	124.5	494.9	4.48	174.0	814.	2.20	0.117E 07	0.717	774.	1.18	1.06	0.85
73.8	127.8	493.7	4.47	179.3	814.	2.22	0.115E 07	0.719	767.	1.16	1.05	0.85
76.3	131.1	490.7	4.46	184.6	813.	2.26	0.114E 07	0.722	764.	1.15	1.05	0.85

RUN 32-1

X/D	MASS FLOW 14.6 G/S T-IN 56.6 K T-OUT 96.5 K				P-IN 4.48 MPA P-OUT 4.40 MPA				HEAT BALANCE 1.2 x			
	TU	IN	P	U	G	HX	RE	PR	NU	BULK	FILM	INTL
3.8	57.9	149.4	4.47	51.7	190.	2.14	0.123E 07	1.008	1341.	1.34	1.43	1.18
6.3	58.9	159.9	4.47	53.3	200.	1.98	0.123E 07	0.986	1239.	1.29	1.32	1.09
8.8	59.9	160.9	4.47	54.9	202.	1.89	0.123E 07	0.964	1184.	1.26	1.24	1.04
11.3	61.1	172.1	4.46	56.6	204.	1.84	0.123E 07	0.943	1146.	1.24	1.19	1.00
13.8	62.1	174.8	4.46	58.3	205.	1.82	0.123E 07	0.923	1130.	1.23	1.16	0.97
16.3	63.2	179.5	4.46	60.0	207.	1.78	0.123E 07	0.905	1098.	1.21	1.11	0.94
18.8	64.4	183.1	4.46	61.7	208.	1.75	0.123E 07	0.889	1075.	1.20	1.08	0.92
21.3	65.5	185.3	4.45	63.4	209.	1.74	0.122E 07	0.875	1063.	1.19	1.06	0.90
23.8	66.7	187.5	4.45	65.2	209.	1.73	0.122E 07	0.861	1050.	1.18	1.03	0.89
26.3	67.7	188.5	4.45	66.9	210.	1.74	0.121E 07	0.849	1046.	1.18	1.02	0.88
28.8	69.2	190.1	4.44	68.7	219.	1.81	0.121E 07	0.838	1078.	1.22	1.04	0.90
31.3	70.5	193.9	4.44	70.5	220.	1.78	0.120E 07	0.829	1053.	1.20	1.02	0.88
33.8	71.3	194.9	4.44	72.4	220.	1.79	0.119E 07	0.820	1047.	1.20	1.01	0.87
36.3	73.1	197.8	4.44	74.2	221.	1.77	0.119E 07	0.812	1029.	1.19	0.98	0.85
38.8	74.4	200.2	4.43	76.0	222.	1.76	0.118E 07	0.806	1013.	1.17	0.97	0.84
41.3	75.7	203.0	4.43	77.9	223.	1.75	0.117E 07	0.800	995.	1.16	0.95	0.82
43.8	77.1	203.3	4.43	79.7	223.	1.77	0.116E 07	0.795	993.	1.16	0.94	0.82
46.3	78.4	211.1	4.42	81.5	222.	1.81	0.115E 07	0.791	1009.	1.16	0.95	0.83
48.8	79.8	201.0	4.42	83.3	222.	1.82	0.115E 07	0.787	1004.	1.16	0.94	0.82
51.3	81.1	204.5	4.42	85.2	223.	1.81	0.114E 07	0.781	982.	1.14	0.93	0.81
53.8	82.5	204.3	4.42	87.0	223.	1.83	0.113E 07	0.775	978.	1.14	0.92	0.81
56.3	83.9	203.6	4.41	88.8	223.	1.86	0.112E 07	0.770	978.	1.13	0.92	0.81
58.8	85.1	200.2	4.41	90.5	222.	1.93	0.111E 07	0.765	998.	1.15	0.94	0.83
61.3	86.5	196.7	4.41	92.3	221.	2.00	0.110E 07	0.761	1022.	1.16	0.96	0.85
63.8	87.8	197.7	4.40	94.0	221.	2.01	0.109E 07	0.758	1012.	1.15	0.95	0.84
66.3	89.1	210.9	4.40	95.8	225.	1.85	0.108E 07	0.754	916.	1.08	0.88	0.76
68.8	90.5	201.7	4.40	97.5	222.	2.00	0.108E 07	0.752	977.	1.12	0.93	0.83
71.3	91.8	205.3	4.39	99.3	223.	1.97	0.107E 07	0.749	949.	1.10	0.91	0.81
73.8	93.1	196.9	4.39	101.0	221.	2.13	0.106E 07	0.747	1011.	1.15	0.96	0.86
76.3	94.4	206.3	4.39	102.7	223.	2.15	0.105E 07	0.745	960.	1.11	0.93	0.82

RUN 32-7

MASS FLOW 10.5 G/S T-IN 56.5 K T-OUT 132.5 K P-IN 4.52 MPA P-OUT 4.39 MPA HEAT BALANCE 1.5 %											HX-EXP / HX-CAL	
X/D	TB	TR	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	MULK	FILM	INTL
3.8	59.0	237.6	4.51	48.9	347.	1.94	0.113E 07	0.987	1214.	1.69	1.55	1.27
6.3	61.0	271.4	4.50	51.7	359.	1.71	0.113E 07	0.946	1061.	1.58	1.39	1.16
8.8	63.1	304.1	4.50	54.7	370.	1.53	0.113E 07	0.910	945.	1.50	1.27	1.03
11.3	65.3	336.3	4.50	57.7	376.	1.41	0.113E 07	0.879	859.	1.46	1.16	0.95
13.8	67.7	368.2	4.49	60.8	376.	1.41	0.112E 07	0.853	850.	1.42	1.15	0.93
16.3	70.1	400.6	4.49	64.0	387.	1.30	0.111E 07	0.833	769.	1.35	1.08	0.86
18.8	72.6	432.7	4.48	67.2	393.	1.24	0.110E 07	0.816	719.	1.30	1.03	0.81
21.3	75.1	464.2	4.48	70.4	398.	1.18	0.108E 07	0.804	674.	1.25	0.99	0.77
23.8	77.7	495.5	4.48	73.6	399.	1.17	0.107E 07	0.794	653.	1.22	0.96	0.75
26.3	80.4	527.0	4.47	76.8	401.	1.16	0.105E 07	0.786	632.	1.19	0.94	0.73
28.8	83.1	558.4	4.47	80.1	434.	1.22	0.104E 07	0.773	644.	1.24	0.97	0.76
31.3	85.9	589.1	4.46	83.5	438.	1.18	0.102E 07	0.764	605.	1.19	0.94	0.73
33.8	88.8	619.0	4.46	86.9	436.	1.19	0.100E 07	0.756	591.	1.16	0.92	0.72
36.3	91.6	648.1	4.46	90.2	439.	1.18	0.986E 06	0.750	567.	1.12	0.90	0.70
38.8	94.5	676.1	4.45	93.5	439.	1.19	0.970E 06	0.746	558.	1.10	0.88	0.69
41.3	97.3	704.0	4.45	96.8	439.	1.20	0.954E 06	0.743	545.	1.07	0.87	0.68
43.8	100.1	731.4	4.44	99.9	439.	1.22	0.934E 06	0.730	538.	1.04	0.86	0.68
46.3	102.8	758.6	4.44	103.1	434.	1.29	0.940E 06	0.727	554.	1.04	0.87	0.70
48.8	105.5	785.8	4.43	106.1	432.	1.34	0.927E 06	0.724	559.	1.04	0.87	0.70
51.3	108.1	812.1	4.43	109.2	431.	1.36	0.915E 06	0.723	553.	1.02	0.87	0.70
53.8	110.7	838.5	4.43	112.1	423.	1.39	0.903E 06	0.721	554.	1.00	0.86	0.70
56.3	113.3	864.5	4.42	115.0	422.	1.43	0.891E 06	0.720	557.	1.00	0.86	0.71
58.8	115.8	890.7	4.42	117.8	419.	1.51	0.880E 06	0.718	571.	1.00	0.88	0.73
61.3	118.3	916.8	4.41	120.6	414.	1.62	0.870E 06	0.717	601.	1.02	0.90	0.76
63.8	120.7	942.6	4.41	123.4	412.	1.68	0.859E 06	0.716	610.	1.02	0.91	0.77
66.3	123.1	967.3	4.41	126.1	415.	1.63	0.850E 06	0.715	580.	0.99	0.89	0.75
68.8	125.5	991.4	4.40	128.8	409.	1.77	0.840E 06	0.717	621.	1.02	0.92	0.79
71.3	127.3	1015.6	4.40	131.4	408.	1.82	0.831E 06	0.719	627.	1.02	0.92	0.79
73.8	130.1	1039.4	4.39	134.0	403.	1.98	0.822E 06	0.721	672.	1.06	0.96	0.84
76.3	132.4	1062.4	4.39	136.6	401.	2.16	0.814E 06	0.722	690.	1.07	0.98	0.86

RUN 32-9

MASS FLOW 14.1 G/S T-IN 47.4 K T-OUT 106.0 K P-IN 1.55 MPA P-OUT 1.20 MPA HEAT BALANCE 2.9 %											HX-EXP / HX-CAL	
X/D	TB	TR	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	MULK	FILM	INTL
3.8	49.4	183.5	1.53	130.6	243.	1.81	0.165E 07	0.850	1662.	1.73	1.45	1.19
6.3	50.9	205.3	1.52	137.5	251.	1.63	0.162E 07	0.828	1466.	1.64	1.29	1.06
8.8	52.5	227.7	1.51	144.7	257.	1.52	0.159E 07	0.810	1342.	1.58	1.19	0.98
11.3	54.2	249.9	1.50	152.1	263.	1.41	0.156E 07	0.792	1220.	1.51	1.10	0.91
13.8	55.9	272.4	1.49	159.7	263.	1.41	0.153E 07	0.782	1198.	1.49	1.07	0.89
16.3	57.7	296.2	1.48	167.4	270.	1.29	0.150E 07	0.772	1076.	1.42	0.99	0.82
18.8	59.5	321.1	1.47	175.3	271.	1.28	0.147E 07	0.763	1042.	1.39	0.96	0.80
21.3	61.3	346.3	1.46	183.4	276.	1.22	0.144E 07	0.753	964.	1.34	0.91	0.75
23.8	63.1	371.8	1.45	191.6	274.	1.25	0.142E 07	0.746	969.	1.33	0.91	0.76
26.3	65.0	397.5	1.44	199.9	274.	1.27	0.139E 07	0.740	957.	1.32	0.89	0.75
28.8	66.9	423.4	1.43	208.5	295.	1.35	0.136E 07	0.735	998.	1.39	0.94	0.79
31.3	68.9	449.4	1.41	217.5	297.	1.42	0.134E 07	0.732	952.	1.35	0.91	0.76
33.8	70.7	475.3	1.40	226.6	297.	1.35	0.131E 07	0.729	944.	1.33	0.90	0.76
36.3	72.8	501.5	1.39	235.6	298.	1.33	0.129E 07	0.728	912.	1.30	0.88	0.74
38.8	74.3	527.7	1.38	245.1	297.	1.36	0.127E 07	0.727	912.	1.29	0.88	0.74
41.3	76.7	554.1	1.36	254.6	298.	1.35	0.125E 07	0.727	881.	1.26	0.86	0.73
43.8	78.6	580.8	1.35	264.1	298.	1.37	0.122E 07	0.727	877.	1.24	0.85	0.73
46.3	80.5	607.9	1.34	273.7	296.	1.41	0.121E 07	0.727	884.	1.24	0.86	0.73
48.8	82.7	634.3	1.32	283.3	295.	1.46	0.119E 07	0.724	888.	1.26	0.86	0.74
51.3	84.1	661.0	1.31	293.1	295.	1.47	0.117E 07	0.721	872.	1.21	0.85	0.74
53.8	85.9	687.5	1.30	303.1	293.	1.52	0.115E 07	0.719	877.	1.20	0.86	0.74
56.3	87.7	714.3	1.28	313.2	294.	1.52	0.114E 07	0.718	857.	1.18	0.85	0.74
58.8	89.4	741.4	1.27	323.5	291.	1.42	0.112E 07	0.717	892.	1.20	0.88	0.76
61.3	91.1	768.5	1.25	333.9	289.	1.49	0.111E 07	0.716	911.	1.21	0.89	0.78
63.8	92.3	795.2	1.24	344.5	289.	1.71	0.110E 07	0.716	906.	1.20	0.89	0.78
66.3	94.4	823.3	1.22	355.4	289.	1.71	0.108E 07	0.716	888.	1.18	0.88	0.78
68.8	96.0	851.4	1.21	366.5	287.	1.78	0.107E 07	0.716	906.	1.18	0.90	0.79
71.3	97.5	879.1	1.19	378.0	287.	1.81	0.106E 07	0.716	904.	1.18	0.90	0.80
73.8	99.0	907.3	1.17	389.7	285.	1.91	0.105E 07	0.716	939.	1.20	0.93	0.82
76.3	100.5	935.1	1.15	401.5	284.	1.97	0.104E 07	0.705	953.	1.20	0.95	0.84

KUN 33-1

MASS FLOW 17.6 G/S T-IN 34.7 K T-OUT 120.9 K P-IN 5.41 MPA P-OUT 4.50 MPA HEAT BALANCE -1.4 %												
X/D	TB	IW	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	HX-EXP / HX-CAL		INTL
										BULK	FILM	
4.9	36.1	112.1	5.39	40.9	311.	4.78	0.953E 06	1.076	1170.	1.56	2.18	1.53
6.2	37.1	120.1	5.39	42.1	319.	3.59	0.100E 07	1.115	1055.	1.39	2.04	1.40
11.5	38.2	135.9	5.39	43.4	324.	3.32	0.105E 07	1.154	1003.	1.29	1.92	1.32
14.8	39.2	144.8	5.38	44.7	329.	3.12	0.110E 07	1.191	967.	1.21	1.81	1.25
18.1	40.2	151.9	5.38	46.2	333.	2.98	0.115E 07	1.227	949.	1.15	1.72	1.20
21.4	41.2	159.6	5.37	47.0	336.	2.83	0.120E 07	1.257	929.	1.09	1.62	1.15
24.7	42.1	168.6	5.37	49.4	340.	2.69	0.126E 07	1.282	906.	1.04	1.53	1.09
28.0	43.0	175.4	5.36	51.2	343.	2.50	0.130E 07	1.301	899.	1.00	1.45	1.05
31.3	44.0	182.8	5.35	53.1	346.	2.50	0.135E 07	1.313	886.	0.97	1.37	1.01
34.6	44.9	190.5	5.35	55.1	350.	2.40	0.140E 07	1.319	874.	0.94	1.30	0.96
41.1	46.7	202.6	5.34	59.5	359.	2.30	0.149E 07	1.309	878.	0.91	1.19	0.91
47.7	48.5	217.2	5.32	64.4	364.	2.16	0.157E 07	1.277	859.	0.88	1.09	0.83
54.3	50.4	231.7	5.30	69.6	362.	2.25	0.165E 07	1.282	926.	0.89	1.06	0.82
60.9	52.3	220.9	5.29	75.2	366.	2.17	0.170E 07	1.181	920.	0.88	0.98	0.77
67.5	54.3	220.9	5.27	81.1	366.	2.19	0.175E 07	1.127	951.	0.89	0.94	0.75
74.1	56.4	216.3	5.25	87.2	362.	2.35	0.179E 07	1.076	1035.	0.92	0.94	0.76
80.6	58.6	206.9	5.23	93.6	361.	2.40	0.182E 07	1.027	1068.	0.93	0.91	0.75
87.2	60.8	202.2	5.21	100.1	359.	2.54	0.183E 07	0.981	1130.	0.96	0.91	0.75
93.8	63.1	197.0	5.19	106.7	357.	2.66	0.184E 07	0.940	1183.	0.98	0.90	0.76
100.4	65.4	147.4	5.17	113.2	355.	4.09	0.185E 07	0.906	1802.	1.26	1.24	1.05
115.6	70.0	180.2	5.12	126.3	344.	3.13	0.184E 07	0.854	1352.	1.04	0.92	0.80
126.7	74.8	157.3	5.07	139.7	334.	4.05	0.181E 07	0.820	1705.	1.21	1.08	0.95
139.9	79.7	167.3	5.02	153.1	339.	3.86	0.178E 07	0.799	1576.	1.14	0.99	0.87
153.1	84.6	179.3	4.97	166.8	344.	3.63	0.174E 07	0.775	1408.	1.06	0.90	0.80
166.2	89.6	173.6	4.91	180.6	341.	4.07	0.169E 07	0.760	1499.	1.10	0.95	0.85
179.4	94.5	171.0	4.85	194.4	340.	4.45	0.165E 07	0.750	1562.	1.13	1.00	0.90
192.6	99.3	186.5	4.78	208.4	344.	4.24	0.161E 07	0.744	1423.	1.06	0.93	0.84
209.0	105.3	173.5	4.70	226.2	341.	5.00	0.159E 07	0.726	1585.	1.14	1.04	0.94
225.5	111.0	176.5	4.761	244.3	343.	5.24	0.154E 07	0.722	1572.	1.14	1.06	0.96
241.9	116.7	175.3	4.52	263.0	342.	5.84	0.150E 07	0.718	1666.	1.19	1.14	1.06

KUN 33-3

MASS FLOW 16.3 G/S T-IN 34.1 K T-OUT 130.4 K P-IN 4.88 MPA P-OUT 4.52 MPA HEAT BALANCE -3.2 %												
X/D	TB	IW	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	HX-EXP / HX-CAL		INTL
										BULK	FILM	
4.9	36.1	124.0	4.88	24.6	201.	2.28	0.586E 06	1.127	677.	1.38	2.16	1.44
6.2	37.3	136.4	4.87	25.4	205.	2.07	0.620E 06	1.178	634.	1.26	2.01	1.34
11.5	38.4	149.1	4.87	26.3	210.	1.89	0.654E 06	1.227	598.	1.16	1.85	1.25
14.8	39.4	157.6	4.87	27.3	213.	1.80	0.689E 06	1.274	585.	1.09	1.74	1.19
18.1	40.4	166.2	4.87	28.4	215.	1.71	0.723E 06	1.318	575.	1.03	1.63	1.14
21.4	41.4	180.5	4.87	29.6	219.	1.58	0.757E 06	1.352	548.	0.97	1.49	1.06
24.7	42.4	189.7	4.86	30.8	222.	1.51	0.792E 06	1.377	540.	0.93	1.40	1.01
28.0	43.4	200.5	4.86	32.2	225.	1.43	0.825E 06	1.391	529.	0.89	1.30	0.95
31.3	44.3	209.5	4.86	33.6	227.	1.38	0.858E 06	1.393	523.	0.86	1.23	0.91
34.6	45.2	220.7	4.86	35.2	230.	1.31	0.889E 06	1.385	512.	0.84	1.15	0.86
41.1	47.2	235.8	4.85	38.5	233.	1.24	0.946E 06	1.345	507.	0.81	1.04	0.79
47.7	49.2	239.8	4.84	42.2	234.	1.23	0.995E 06	1.284	525.	0.81	0.97	0.75
54.3	51.3	224.3	4.84	46.1	230.	1.33	0.103E 07	1.215	588.	0.85	0.96	0.75
60.9	53.4	222.8	4.83	50.1	236.	1.36	0.106E 07	1.146	613.	0.86	0.92	0.73
67.5	55.7	215.1	4.82	54.4	228.	1.43	0.109E 07	1.081	655.	0.89	0.90	0.73
74.1	58.1	215.4	4.81	58.7	228.	1.45	0.110E 07	1.022	669.	0.89	0.86	0.71
80.6	60.5	199.1	4.81	63.2	224.	1.62	0.111E 07	0.969	746.	0.94	0.89	0.74
87.2	63.1	195.0	4.80	67.6	223.	1.71	0.111E 07	0.924	784.	0.97	0.89	0.75
93.8	65.7	189.1	4.79	72.1	222.	1.80	0.111E 07	0.887	812.	0.99	0.88	0.75
100.4	68.4	184.3	4.78	76.6	220.	1.90	0.110E 07	0.856	847.	1.01	0.89	0.76
113.6	73.8	185.2	4.76	85.6	220.	1.97	0.108E 07	0.817	850.	1.01	0.86	0.75
126.7	79.4	164.3	4.74	94.3	214.	2.51	0.105E 07	0.795	1040.	1.14	0.98	0.87
139.9	84.8	161.6	4.72	103.9	213.	2.77	0.102E 07	0.771	1082.	1.17	1.02	0.91
153.1	90.3	170.4	4.70	111.4	217.	2.52	0.992E 06	0.755	930.	1.06	0.91	0.81
166.2	95.9	179.7	4.68	119.8	218.	2.60	0.963E 06	0.746	906.	1.04	0.90	0.81
179.4	101.3	175.9	4.65	128.1	217.	2.91	0.949E 06	0.730	960.	1.07	0.96	0.86
192.6	106.3	183.8	4.63	136.2	219.	2.84	0.924E 06	0.725	889.	1.01	0.92	0.83
209.0	113.1	177.9	4.60	145.3	218.	3.36	0.894E 06	0.720	990.	1.10	1.03	0.93
225.5	119.5	180.3	4.57	156.2	218.	3.57	0.867E 06	0.717	992.	1.11	1.06	0.96
241.9	125.8	174.5	4.53	166.1	218.	4.4	0.842E 06	0.718	1071.	1.18	1.16	1.05

RUN 33-6

X/D	MASS FLOW 6.4 G/S			T-IN 39.6 K		T-OUT 142.0 K		P-IN 4.66 MPA		P-OUT 4.51 MPA		HEAT BALANCE 2.3 V ▲		
	TB	T _H	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	BULK	FILM	INTL		
4.9	41.1	127.8	4.66	18.5	132.	1.52	0.475E 06	1.387	534.	1.12	1.95	1.37		
8.2	42.0	145.9	4.65	19.3	136.	1.30	0.496E 06	1.414	472.	1.01	1.71	1.20		
11.5	42.9	151.8	4.65	20.1	136.	1.26	0.517E 06	1.429	473.	0.98	1.62	1.16		
14.8	43.9	163.2	4.65	21.0	140.	1.17	0.538E 06	1.431	453.	0.94	1.48	1.07		
18.1	44.8	170.74	4.65	22.0	141.	1.13	0.558E 06	1.422	447.	0.91	1.38	1.02		
21.4	45.7	178.0	4.65	23.1	142.	1.12	0.577E 06	1.403	455.	0.91	1.33	0.99		
24.7	46.7	191.7	4.65	24.2	146.	1.0	0.594E 06	1.377	419.	0.86	1.18	0.90		
28.0	47.7	200.3	4.65	25.3	147.	0.96	0.611E 06	1.344	412.	0.85	1.11	0.85		
31.3	48.7	209.2	4.65	26.6	148.	0.95	0.626E 06	1.308	412.	0.84	1.06	0.82		
34.6	49.7	218.0	4.64	27.9	149.	0.92	0.639E 06	1.270	407.	0.83	1.00	0.78		
41.1	51.9	227.74	4.64	30.5	149.	0.88	0.662E 06	1.191	402.	0.82	0.91	0.72		
47.7	54.3	219.9	4.64	33.4	149.	0.90	0.678E 06	1.114	418.	0.85	0.87	0.70		
54.3	55.7	206.8	4.64	36.3	147.	0.98	0.690E 06	1.046	459.	0.87	0.87	0.71		
60.9	59.3	206.3	4.63	39.2	147.	0.99	0.696E 06	0.987	464.	0.88	0.83	0.68		
67.5	62.0	206.7	4.63	42.3	147.	1.02	0.698E 06	0.934	473.	0.89	0.81	0.67		
74.1	64.6	210.3	4.62	45.3	148.	1.01	0.696E 06	0.892	466.	0.88	0.77	0.65		
80.6	67.7	195.7	4.62	48.4	145.	1.13	0.691E 06	0.859	512.	0.92	0.80	0.68		
87.2	70.6	183.1	4.62	51.4	145.	1.18	0.684E 06	0.834	524.	0.93	0.79	0.69		
93.8	73.6	192.6	4.61	54.4	144.	1.21	0.675E 06	0.815	528.	0.94	0.79	0.68		
100.4	76.6	186.5	4.61	57.4	143.	1.30	0.665E 06	0.801	555.	0.96	0.80	0.70		
113.6	82.6	186.9	4.60	63.2	143.	1.37	0.644E 06	0.778	553.	0.95	0.79	0.70		
126.7	88.5	170.1	4.59	68.9	140.	1.72	0.622E 06	0.758	647.	1.06	0.91	0.82		
139.9	94.4	179.1	4.58	74.3	142.	1.68	0.602E 06	0.747	594.	0.99	0.86	0.77		
153.1	100.2	179.7	4.57	79.7	142.	1.79	0.592E 06	0.730	597.	0.99	0.88	0.79		
166.2	105.9	185.6	4.56	84.9	143.	1.80	0.574E 06	0.725	567.	0.95	0.86	0.77		
179.4	111.5	181.9	4.55	90.0	142.	2.12	0.558E 06	0.721	605.	1.00	0.93	0.84		
192.6	117.2	192.1	4.54	95.0	144.	1.92	0.543E 06	0.718	547.	0.93	0.87	0.78		
209.0	123.8	184.9	4.53	101.1	143.	2.34	0.526E 06	0.716	629.	1.04	1.01	0.91		
225.5	130.7	189.7	4.52	107.1	144.	2.43	0.510E 06	0.721	626.	1.04	1.02	0.93		
241.9	137.0	194.4	4.50	113.1	145.	2.52	0.496E 06	0.723	624.	1.05	1.04	0.94		

RUN 33-7

X/D	MASS FLOW 6.5 G/S			T-IN 37.1 K		T-OUT 235.2 K		P-IN 4.77 MPA		P-OUT 4.50 MPA		HEAT BALANCE 2.4 ▲		
	TB	T _H	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	BULK	FILM	INTL		
4.9	40.6	202.1	4.77	18.1	299.	1.24	0.463E 06	1.345	422.	1.44	2.07	1.46		
8.2	42.7	320.3	4.77	19.8	306.	1.10	0.510E 06	1.402	404.	1.31	1.85	1.31		
11.5	44.7	302.8	4.77	21.6	303.	1.17	0.554E 06	1.405	458.	1.31	1.77	1.29		
14.8	46.8	329.3	4.76	24.3	307.	1.11	0.593E 06	1.364	455.	1.27	1.61	1.18		
18.1	48.5	316.5	4.76	26.5	306.	1.13	0.626E 06	1.299	488.	1.28	1.52	1.14		
21.4	51.0	261.4	4.76	29.0	298.	1.29	0.652E 06	1.225	575.	1.36	1.52	1.17		
24.7	53.2	314.0	4.76	31.7	305.	1.17	0.672E 06	1.150	532.	1.31	1.36	1.05		
28.0	55.7	364.6	4.75	34.6	303.	1.22	0.686E 06	1.079	561.	1.34	1.30	1.02		
31.3	58.2	294.2	4.75	37.5	301.	1.28	0.695E 06	1.016	592.	1.37	1.26	1.01		
34.6	60.9	290.3	4.75	40.5	300.	1.31	0.700E 06	0.960	606.	1.39	1.22	0.98		
41.1	66.4	289.5	4.74	46.4	293.	1.32	0.697E 06	0.877	596.	1.33	1.11	0.91		
47.7	72.2	267.3	4.74	52.4	292.	1.36	0.684E 06	0.826	593.	1.31	1.05	0.87		
54.3	78.2	276.6	4.73	58.2	289.	1.48	0.665E 06	0.796	619.	1.32	1.03	0.88		
60.9	84.2	291.6	4.72	63.9	293.	1.41	0.644E 06	0.773	556.	1.23	0.96	0.82		
67.5	90.3	294.9	4.72	69.5	294.	1.44	0.622E 06	0.756	529.	1.17	0.92	0.79		
74.1	96.3	319.6	4.71	75.0	299.	1.34	0.602E 06	0.746	463.	1.07	0.85	0.73		
80.6	102.2	299.2	4.70	80.3	295.	1.50	0.591E 06	0.729	488.	1.07	0.88	0.77		
87.2	108.3	304.9	4.70	85.4	296.	1.50	0.574E 06	0.724	463.	1.02	0.86	0.75		
93.8	113.7	312.1	4.69	90.5	297.	1.50	0.558E 06	0.721	438.	0.98	0.84	0.73		
100.4	119.3	304.2	4.68	95.4	296.	1.60	0.543E 06	0.718	445.	0.97	0.86	0.75		
113.6	130.3	337.2	4.67	104.9	303.	1.71	0.516E 06	0.722	440.	0.96	0.87	0.77		
126.7	141.0	286.4	4.65	114.2	299.	2.13	0.493E 06	0.723	488.	1.02	0.96	0.85		
139.9	151.8	316.5	4.64	123.5	305.	1.83	0.471E 06	0.713	413.	0.91	0.87	0.77		
153.1	162.5	304.0	4.62	132.9	302.	2.13	0.452E 06	0.699	453.	0.97	0.95	0.85		
166.2	173.1	299.3	4.61	142.2	301.	2.39	0.434E 06	0.686	483.	1.03	1.03	0.92		
179.4	183.7	306.3	4.59	151.6	304.	2.46	0.410E 06	0.675	474.	1.03	1.04	0.93		
192.6	194.8	338.4	4.57	161.3	309.	2.15	0.403E 06	0.665	396.	0.91	0.93	0.82		
209.0	208.7	322.1	4.54	173.7	306.	2.49	0.386E 06	0.654	473.	1.06	1.09	0.98		
225.5	222.7	339.3	4.53	186.4	309.	2.65	0.370E 06	0.647	446.	1.03	1.06	0.96		
241.9	237.0	350.6	4.49	199.6	311.	2.73	0.359E 06	0.643	446.	1.05	1.08	0.97		

RUN 33-9

MASS FLOW 6.4 G/S T-IN 38.2 K T-OUT 264.8 K P-IN 4.76 HPA P-OUT 4.46 MPA HEAT BALANCE -2.5 %												
HX-EXP / HX-CAL												
X/D	TB	TW	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	BULK	FILM	INTL
4.9	41.8	346.5	4.76	19.0	325.	1.07	0.488E 06	1.386	379.	1.36	1.93	1.34
6.2	44.0	370.2	4.76	21.0	329.	1.01	0.537E 06	1.412	385.	1.28	1.76	1.24
11.5	46.2	381.1	4.75	23.3	331.	0.99	0.581E 06	1.380	402.	1.25	1.63	1.15
14.8	48.4	393.1	4.75	25.9	333.	0.97	0.618E 06	1.312	413.	1.24	1.50	1.07
18.1	50.6	387.3	4.75	28.7	332.	0.99	0.648E 06	1.231	437.	1.25	1.40	1.02
21.4	53.3	379.5	4.75	31.7	331.	1.01	0.669E 06	1.148	461.	1.27	1.32	0.98
24.7	55.9	366.4	4.74	34.8	328.	1.06	0.684E 06	1.071	489.	1.30	1.26	0.95
28.0	58.7	349.2	4.74	38.0	325.	1.12	0.694E 06	1.004	520.	1.33	1.21	0.94
31.3	61.6	335.9	4.74	41.2	323.	1.18	0.697E 06	0.946	545.	1.35	1.17	0.93
34.6	64.5	324.3	4.73	44.4	321.	1.23	0.696E 06	0.898	563.	1.36	1.14	0.92
41.1	70.9	318.5	4.73	50.9	313.	1.27	0.684E 06	0.835	557.	1.32	1.05	0.86
47.7	77.3	321.6	4.72	57.2	314.	1.28	0.664E 06	0.801	540.	1.27	0.99	0.82
54.3	83.8	325.7	4.71	63.4	315.	1.30	0.642E 06	0.775	514.	1.21	0.94	0.79
60.9	90.4	330.6	4.71	69.4	315.	1.32	0.619E 06	0.755	485.	1.15	0.90	0.76
67.5	96.8	335.8	4.70	75.3	316.	1.32	0.597E 06	0.745	456.	1.09	0.87	0.74
74.1	103.2	356.9	4.69	80.9	320.	1.27	0.586E 06	0.728	409.	1.00	0.82	0.69
80.6	109.5	340.6	4.69	86.5	317.	1.37	0.567E 06	0.723	417.	0.98	0.83	0.71
87.2	115.6	339.9	4.68	91.8	317.	1.41	0.550E 06	0.720	406.	0.95	0.83	0.71
93.8	121.6	342.1	4.67	97.0	318.	1.44	0.535E 06	0.717	393.	0.92	0.82	0.70
100.4	127.4	326.1	4.67	102.0	315.	1.58	0.521E 06	0.720	415.	0.94	0.85	0.74
113.6	139.3	355.9	4.65	112.0	327.	1.51	0.495E 06	0.723	367.	0.87	0.81	0.70
126.7	150.6	343.7	4.64	122.1	325.	1.68	0.471E 06	0.715	383.	0.88	0.85	0.74
139.9	162.1	340.1	4.62	132.0	324.	1.82	0.450E 06	0.700	389.	0.89	0.87	0.76
153.1	173.7	351.3	4.60	142.0	326.	1.83	0.431E 06	0.686	370.	0.87	0.86	0.75
166.2	185.3	352.6	4.58	152.2	326.	1.95	0.414E 06	0.673	373.	0.88	0.88	0.78
179.4	197.1	362.5	4.56	162.6	320.	1.99	0.390E 06	0.665	363.	0.87	0.88	0.78
192.6	209.1	383.6	4.54	173.2	332.	1.90	0.388E 06	0.654	333.	0.83	0.84	0.74
209.0	224.3	377.1	4.52	186.8	331.	2.17	0.366E 06	0.646	363.	0.90	0.91	0.81
225.5	239.3	388.6	4.49	200.6	333.	2.23	0.351E 06	0.642	362.	0.91	0.92	0.82
241.9	255.5	399.1	4.46	215.3	334.	2.33	0.336E 06	0.638	365.	0.93	0.94	0.84

RUN 33-10

MASS FLOW 6.4 G/S T-IN 38.3 K T-OUT 289.0 K P-IN 4.77 HPA P-OUT 4.46 MPA HEAT BALANCE -4.1 %												
HX-EXP / HX-CAL												
X/D	TB	TW	P	U	Q	HX	RE	PR	NU	BULK	FILM	INTL
4.9	42.2	405.7	4.77	19.2	357.	0.98	0.495E 06	1.393	354.	1.36	1.95	1.32
6.2	44.6	436.6	4.77	21.5	362.	0.93	0.548E 06	1.406	360.	1.28	1.76	1.20
11.5	47.2	449.4	4.77	24.2	364.	0.91	0.594E 06	1.356	375.	1.26	1.63	1.11
14.8	49.6	460.5	4.76	27.1	366.	0.89	0.631E 06	1.273	388.	1.25	1.50	1.03
18.1	52.3	444.5	4.76	30.3	364.	0.93	0.659E 06	1.182	418.	1.27	1.40	0.98
21.4	55.1	421.5	4.76	33.6	360.	0.98	0.678E 06	1.095	452.	1.31	1.32	0.96
24.7	58.1	396.9	4.75	37.1	356.	1.05	0.689E 06	1.018	488.	1.34	1.25	0.94
28.0	61.2	370.3	4.75	40.6	351.	1.14	0.694E 06	0.953	525.	1.38	1.21	0.94
31.3	64.5	351.5	4.75	44.1	348.	1.21	0.694E 06	0.900	553.	1.40	1.18	0.93
34.6	67.9	339.5	4.74	47.6	345.	1.27	0.689E 06	0.861	570.	1.41	1.15	0.92
41.1	74.8	333.8	4.74	54.5	335.	1.29	0.671E 06	0.812	554.	1.34	1.05	0.86
47.7	81.8	339.1	4.73	61.1	336.	1.31	0.647E 06	0.784	527.	1.28	0.99	0.82
54.3	88.8	345.6	4.72	67.6	337.	1.31	0.623E 06	0.759	491.	1.20	0.94	0.78
60.9	95.7	352.6	4.71	73.9	339.	1.32	0.599E 06	0.747	459.	1.16	0.90	0.75
67.5	102.6	360.7	4.71	79.9	340.	1.32	0.586E 06	0.729	429.	1.05	0.87	0.73
74.1	109.3	384.3	4.70	85.9	344.	1.25	0.566E 06	0.723	381.	0.97	0.82	0.68
80.6	115.9	368.7	4.69	91.6	342.	1.35	0.548E 06	0.719	387.	0.95	0.83	0.70
87.2	122.3	368.5	4.69	97.1	342.	1.39	0.532E 06	0.716	376.	0.92	0.83	0.70
93.8	128.6	369.1	4.68	102.6	342.	1.42	0.516E 06	0.721	369.	0.90	0.82	0.70
100.4	134.8	352.0	4.67	107.6	339.	1.55	0.502E 06	0.723	388.	0.91	0.85	0.73
113.6	147.2	387.2	4.66	118.4	353.	1.47	0.476E 06	0.719	341.	0.84	0.80	0.68
126.7	159.7	374.6	4.64	129.2	351.	1.63	0.453E 06	0.703	353.	0.86	0.83	0.72
139.9	172.2	371.3	4.62	139.9	350.	1.76	0.432E 06	0.687	357.	0.87	0.85	0.74
153.1	184.8	385.0	4.60	150.6	353.	1.76	0.414E 06	0.674	338.	0.84	0.86	0.73
166.2	197.6	382.4	4.58	161.8	352.	1.91	0.396E 06	0.663	348.	0.85	0.87	0.76
179.4	210.4	392.8	4.56	173.1	354.	1.94	0.381E 06	0.653	339.	0.86	0.86	0.76
192.6	223.5	416.5	4.54	184.7	358.	1.85	0.366E 06	0.647	312.	0.81	0.82	0.72
209.0	240.2	408.0	4.51	199.6	357.	2.13	0.349E 06	0.642	344.	0.89	0.89	0.80
225.5	257.1	420.2	4.48	214.9	359.	2.20	0.334E 06	0.637	343.	0.90	0.91	0.81
241.9	274.3	431.5	4.45	230.9	360.	2.29	0.320E 06	0.625	341.	0.91	0.92	0.83

航空宇宙技術研究所報告 583号

昭和54年8月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町1880
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182

印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川2-27-12
