

エチレン分解炉用クエンチ クーラーの開発

Development of the New Quench Cooler for Ethylene Cracking

近年、エチレン分解炉の分解ガスの冷却を目的とするクエンチ クーラーは、反応により析出するカーボン除去作業の間隔(デコーキング インターバル)の長いものが要望されている。分解ガスの冷却には、過分解反応阻止の第1段階と、液状物の凝縮阻止の第2段階の二つの段階が考えられ、それぞれの理想を満足する形で、2段式クエンチ クーラーを開発し、実機規模の試作機によりその性能を確認したところ、カーボン除去作業の間隔を6ヶ月以上に延し得る予想以上の性能を確認することができた。

有崎 虔治* Kenji Arisaki
蛭田 竜一郎* Tatsuichirô Hiruta
河村 敏** Satoru Kawamura

1 緒 言

本稿は、新形クエンチ クーラーの提案と、その性能の一端を紹介するものである。炭化水素を熱分解すると、カーボンが析出し、分解炉の反応管及びクエンチ クーラーの伝熱管に付着する。カーボンの析出度合は、分解条件が過酷になるほど激しくなる。クエンチ クーラーは、分解炉の高温生成ガスを速やかに冷却して、副次反応の凍結と合わせて、ガスの顕熱を、高圧スチームで回収するプロセス ボイラである。カーボンの付着が進み冷却能力が限界に達すると、分解炉を止めてカーボン除去作業(以下、デコーキングと言う)を行なう必要がある。デコーキングは、分解炉、クエンチ クーラー双方に必要であるが、限界に達するまでの期間(以下、デコーキング インターバルと言う)は、分解炉と、クエンチ クーラーで異なるのが普通である。但し、分解炉とクエンチ クーラーは、配管で結ばれた一つのシステムを構成しており、いずれかがデコーキングが必要となると、必然的に全体の運転を止める必要がある。分解条件のマイルドな場合(Low Severity Cracking)は、デコーキング インターバルは、分解炉のほうが短く、従って、プラントの停止要因は分解炉が支配的で、クーラーは問題視されていなかった。但し、近年の過酷な分解条件(High Severity Cracking)の場合は、クーラーのデコーキング インターバルが著しく短くなり、支配要因がクーラー側に移ってきている。デコーキングには、分解炉の昇温、降温の期間を含めると、1回当たり3~5日を要し、年間当たりの運転ロスは大変な割合になる。従って、クエンチ クーラーのデコーキング インターバルの延長対策は、昨今の最も重要な関心事であり、新形クエンチ クーラーの出現が要望されるゆえんである。

筆者らは、数年前よりこの問題に着目し、基礎的調査と検討を基に、独自の2段クエンチャー システムを開発し、このたび、実用規模の試作機による性能の確認を行なった結果、デコーキング インターバル6ヶ月以上を達成できる見通しを得た。

2 クエンチ クーラーの位置づけと問題の所在

従来、多用されているクエンチ クーラーは、多管式熱交換形が多く、図1に模式的に示すように分解炉と対を成している。分解管は、一般に4~8パスの分割コイル方式であるために、発生ガスは、炉出口で一つに集められ、1本の連絡配管

でクーラーへ送られている。分解ガスは一般に800~850℃で、これを液状物の凝縮が始まらない範囲で極力低温まで冷却して、有効にスチームを回収するものである。

分解ガスの冷却過程におけるカーボン発生の機構を推察すると、次の二つの段階に分けることができる。すなわち、

(a) 分解ガス(特にオレフィン)の過分解による遊離カーボンの発生(これは、クーラー入口部で、高温状態で長時間滞留する場合、及びクーラーの伝熱性能が悪く、急速冷却が満たされない場合。)

(b) 分解生成物中の高沸点分が露点以下に冷却され、液状の形で管内壁に付着し、長時間かけて緩やかに重縮合反応を伴って固化する場合(これも一種のカーボン析出とする。)などの二つが考えられる。これらを実験的に確かめると、例えば、図2は溶融鉛の恒温浴槽で、850℃のナフサ分解ガスの保持温度と析出カーボン量との関係を調べたものである。400~550℃域で析出量が少ない。また、図3は過分触現象の確認のために行なった実験であるが、分解ガスの保持時間と液状物

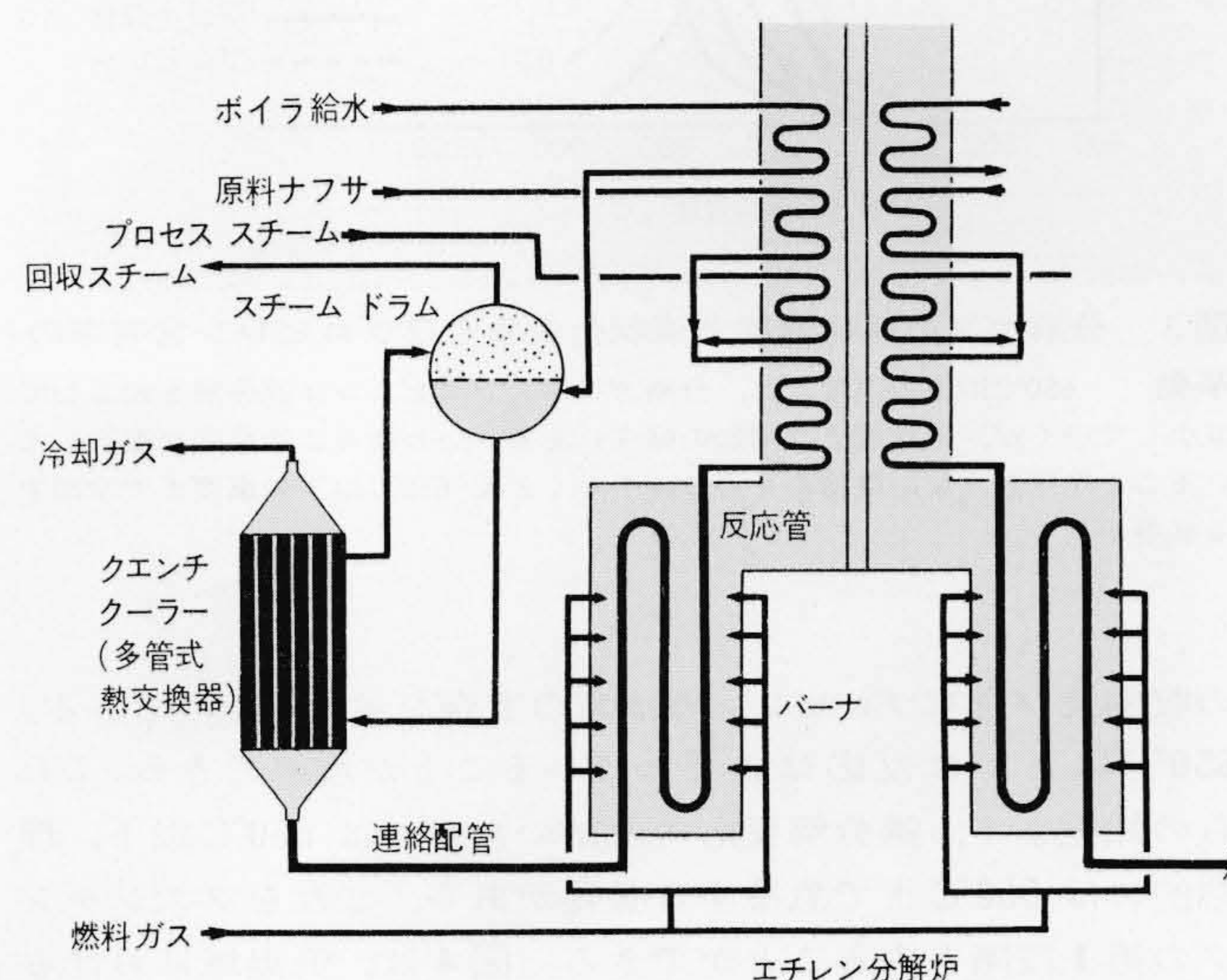


図1 分解炉-クエンチャーの一般的構成 エチレン分解炉と多管式クエンチ クーラーは連絡配管で接続され、クエンチ クーラーにはスチームドラムをもち、分解ガスの熱を高圧スチームで回収する。

* バブコック日立株式会社呉工場 ** 日立製作所機電事業本部

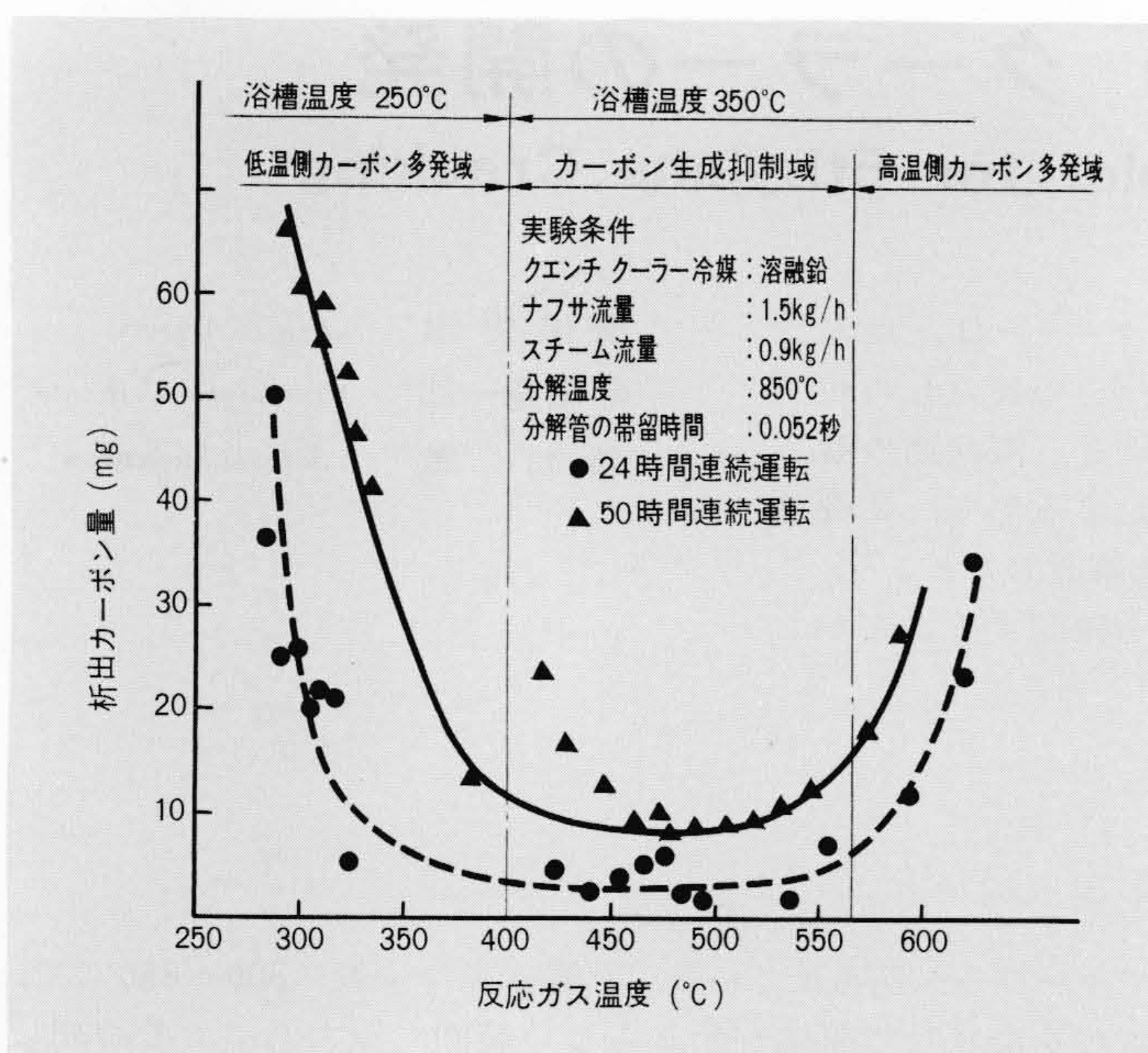


図2 反応ガス温度と析出カーボン量の関係 分解生成ガスを冷却すると、400～550°Cの範囲でカーボンの析出量が少なくなる。400°Cより更に冷却していくと、再び析出量が増大していく。

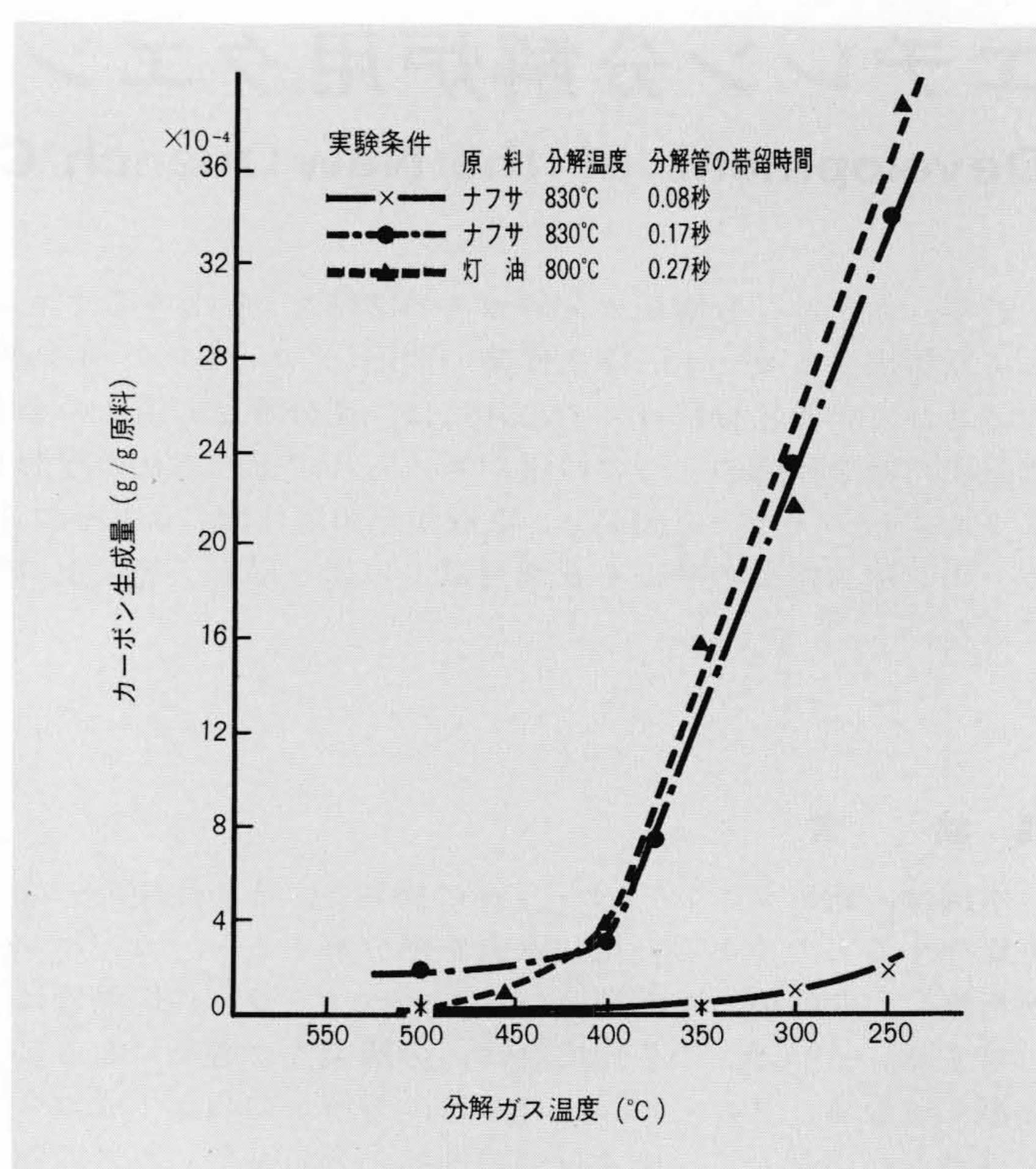


図4 低温域における分解ガス温度とカーボン生成量の関係 分解ガスを400°C以下に冷却すると、カーボンの生成量は増加の傾向にあり、クエンチクーラーにおける冷却の下限をみる事ができる。

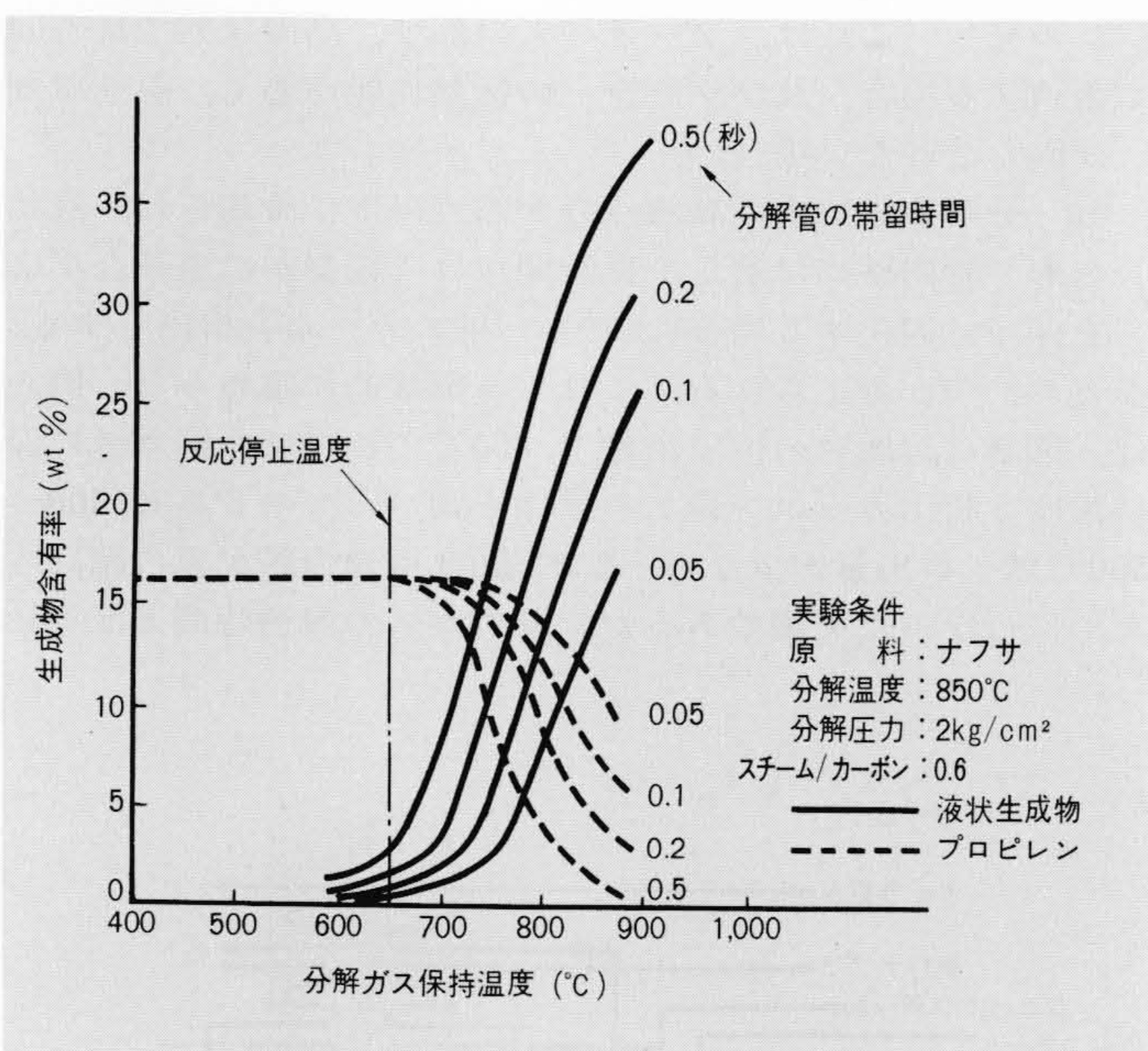


図3 分解ガスの保持温度と液状生成物及びプロピレン含有率の挙動 650°C以上の温度では、分解ガス中のプロピレンは過分解を起こして減少していくが、液状成分は増加の傾向にある。いわゆる二次反応が進行していることを示し、反応凍結のためには少なくとも650°C以下の温度まで冷却する必要がある。

の収率及び含有プロピレンの消滅の割合を示したものである。650°C以下では反応は止まっていることが理解できる。これらの知見より、過分解反応の凍結のためには650°C以下、理想的には550°Cまで急冷する必要がある、これをクエンチングの第1段階とみることができる。図4は、低温域における温度とカーボンの生成量との関係を示したものである。分解条件によっては350°C以上、理想的には400～450°Cを冷却温度の下限と考えてよいであろう。これをクエンチングの第2段階とみることができよう。すなわち、冷却過程を二つの段階に分けて、前段を過分解阻止、後段を凝縮防止を主な要因として冷却温度を設定し、前・後段にそれぞれ、プロセスの

要求に合致した別個の構造のクーラーを配置することが2段クエンチクーラーの基本概念である。なお、2段クエンチクーラーの実用例は決して珍しくないが、クエンチクーラーの設計要因を整理してみると、図5のように複雑である。

これらの各要因に対する重視の度合は、開発者の経験的主観に負うところが多く、既存の2段クエンチクーラーについても、関連特許である程度の情報は得られるも、基本的設計思想については全く不明である。筆者らの開発品についても、図示した要因に対して独自の評価と検討の結果によるものであるが、本稿ではその具体的な説明を割愛させていただきたい。経験工学的要因が多分に関係してくるため、論よりも実践であり、実機規模の設備による実際的な確認以外に正しい評価を受け得ないのが実状である。

3 2段クエンチクーラーの構想

開発した新形クーラーのシステムは、図6に示すフローで構成される。クーラーは、前段(一次クエンチャー)と、後段(二次クエンチャー)で構成され、双方からスチームの発生を行ない、共通のスチームドラムをもっている。新形クーラーの特徴を一次クエンチャーに求めて、次のような基本的な構想とした。

- ガス流速を大きく取り、ガスの滞留時間を極力短くする。
- ガス流速を大きく取るにもかかわらず、流動圧損を極力小さくする。
- 入口部の構造を可能な限り簡単にして、ガスの停滞、渦流の防止に留意する。

これらに対して構造的には、

- 垂直、長尺単管構造とし、分解炉のコイルパスと1対1で対応させ、コイル員数と同数の独立クーラーとする。
- 大径垂直管の長所を生かし、流速を最大限に大きく取



図5 クエンチクーラーの性能に関する要因の関連図 クエンチクーラーの設計的関連要因は複雑を極めており、いずれの関係も理論的説明は難しく、それぞれの要因の重視の仕方は開発者の主観に負うところが多い。

り、ガスの流動により、カーボンの付着を機械的に抑制する。

(c) ガスの入・出口は、断面積、断面形状の変化のない構造とする。

(d) 入口ガス側伝熱の助走区間に相当する箇所は、高熱負荷となり、ボイラ水側で膜沸騰を起こす心配があるのでその防止対策を講ずる。

二次クエンチャーに関しては、出口ガス温度、すなわち最終冷却温度が高沸点成分の凝縮が生じないように設定する以外に、特に特徴をもたせていない。但し、入口ガスチャネルの構造は、渦流の生じない流路形状を実験的に求めてこれを採用している。

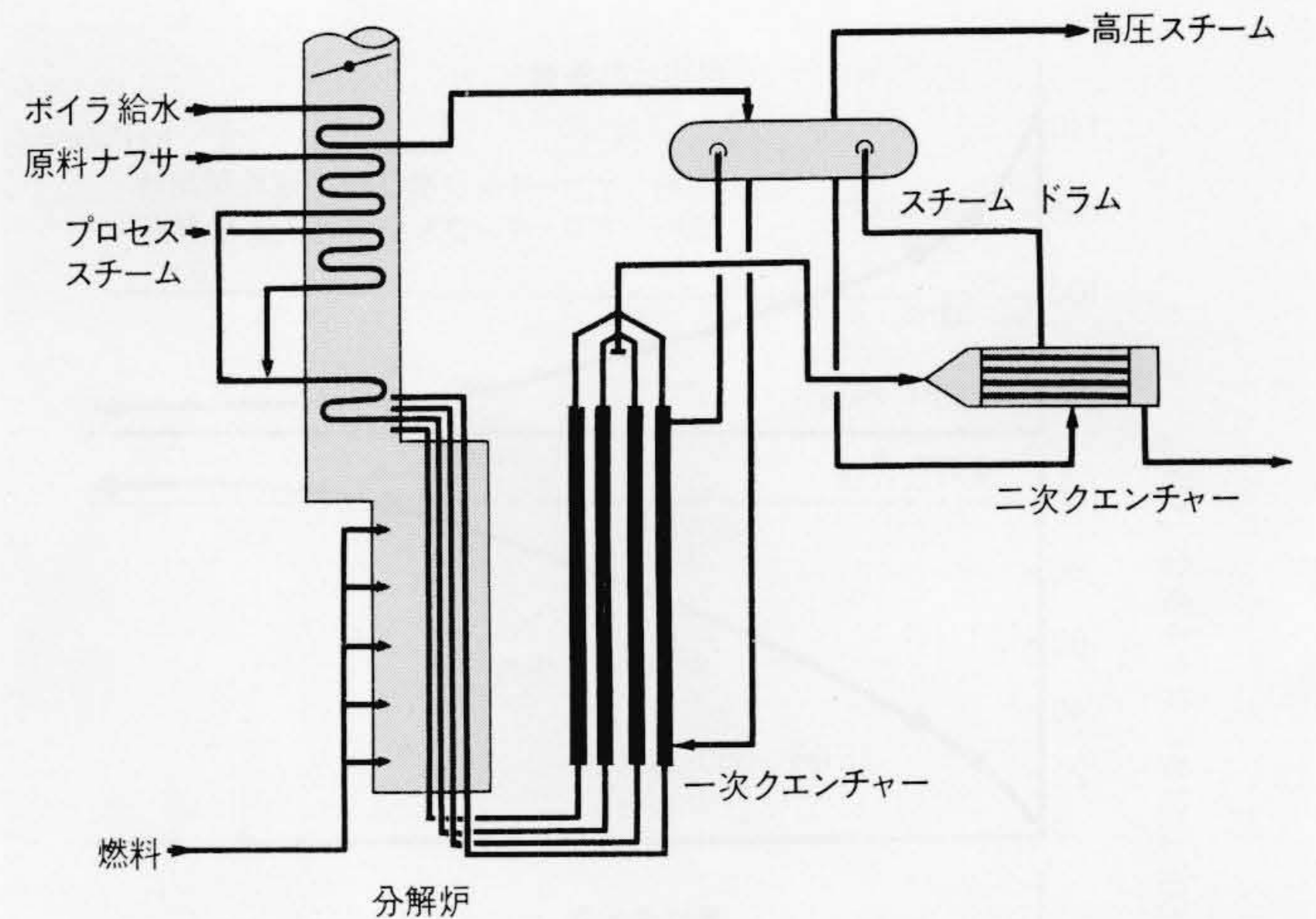


図6 開発クエンチクーラーシステムフロー 4本の分解コイル(4パス)に対し、独立に4本の一次クエンチャーを設け、各コイルごとに一次クエンチャーが1対1に対応させ全体を構成している。クエンチクーラーは、一次と二次の2段に分け共通のドラムをもっている。

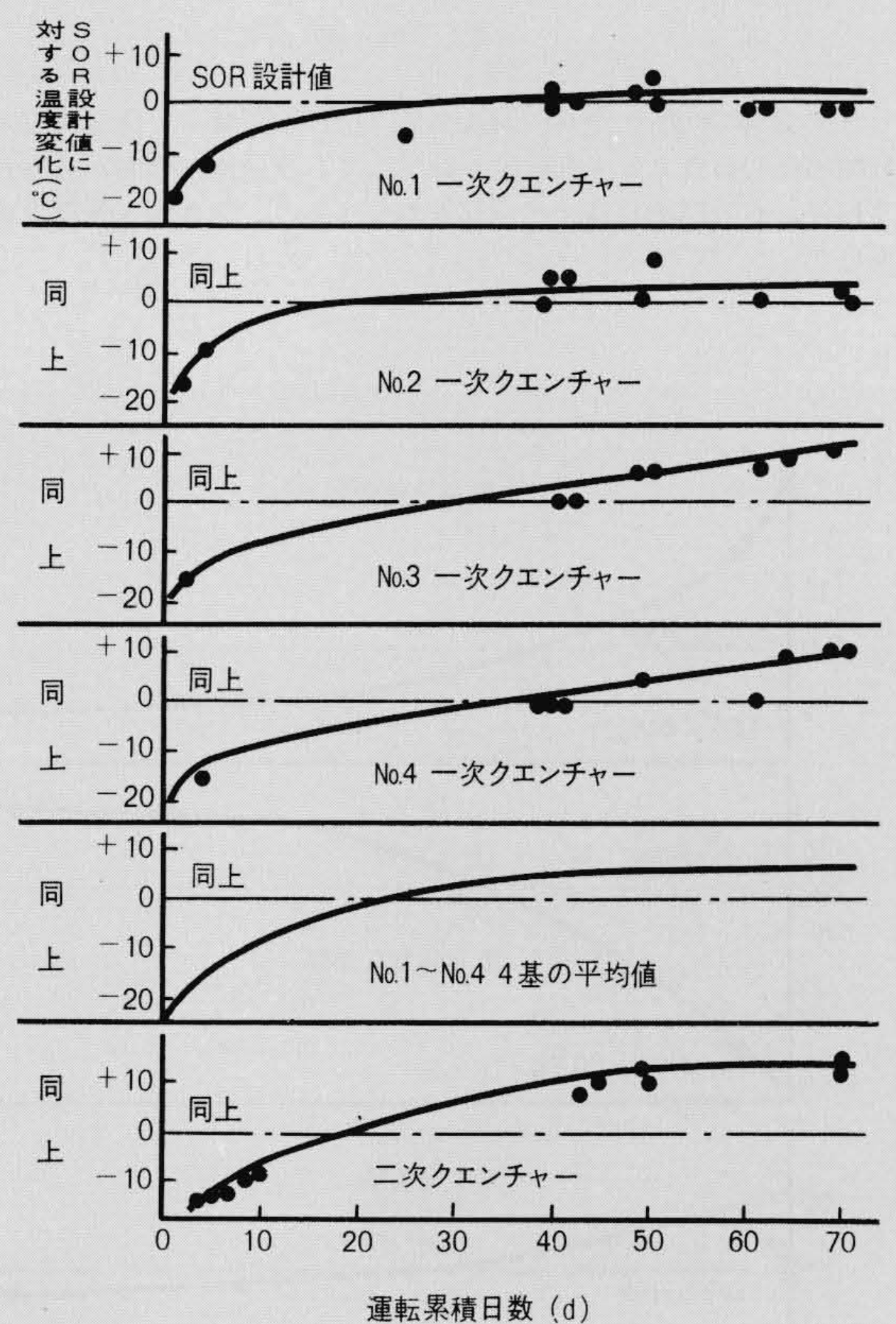


図7 クエンチクーラー出口温度の経時変化の傾向 一次クエンチャー、二次クエンチャー共に運転開始後70日目では出口温度の上昇傾向は見られず安定している。

4 試作機の性能

試作機は、実機分解炉に併設し据付完成後、所定のメカニカルランニングテストを実施の後、3ヶ月間にわたり各種のテストを実施した。その後、更に一定条件で約3ヶ月の連続運転を実施し、通算して約6ヶ月のロングランを達成し、なお且つ運転継続の可能性を残していることが確認された。分解条件で若干マイルドな点もあるが、予想以上の連続運転

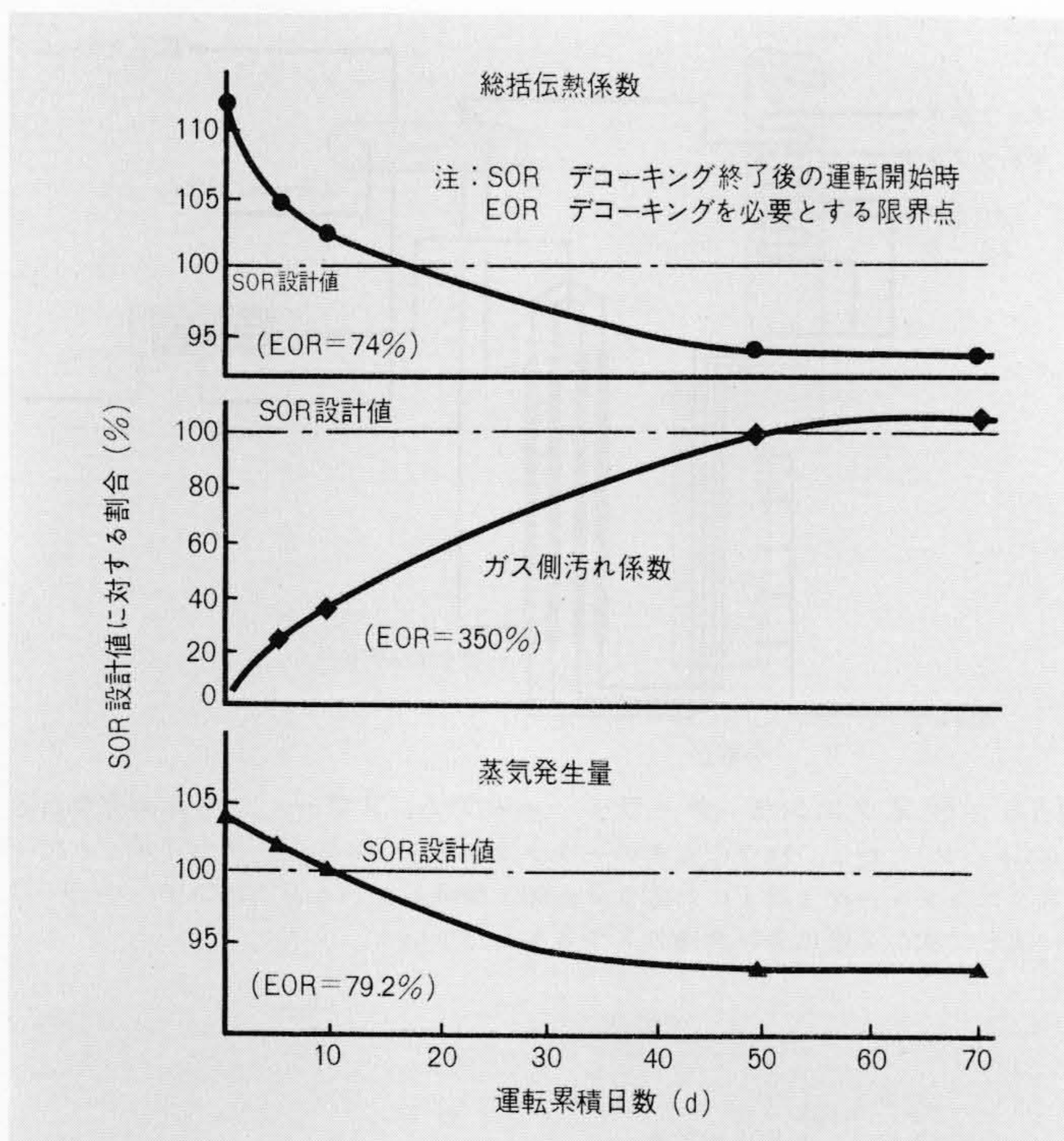


図8 一次クエンチャーの伝熱性能の経時変化 図示の伝熱特性値は、運転開始後70日目では十分安定し静定しており、増減傾向が見られない。且つ、運転停止点のEORには十分余裕を残しており、引き続き長期の運転が可能である。

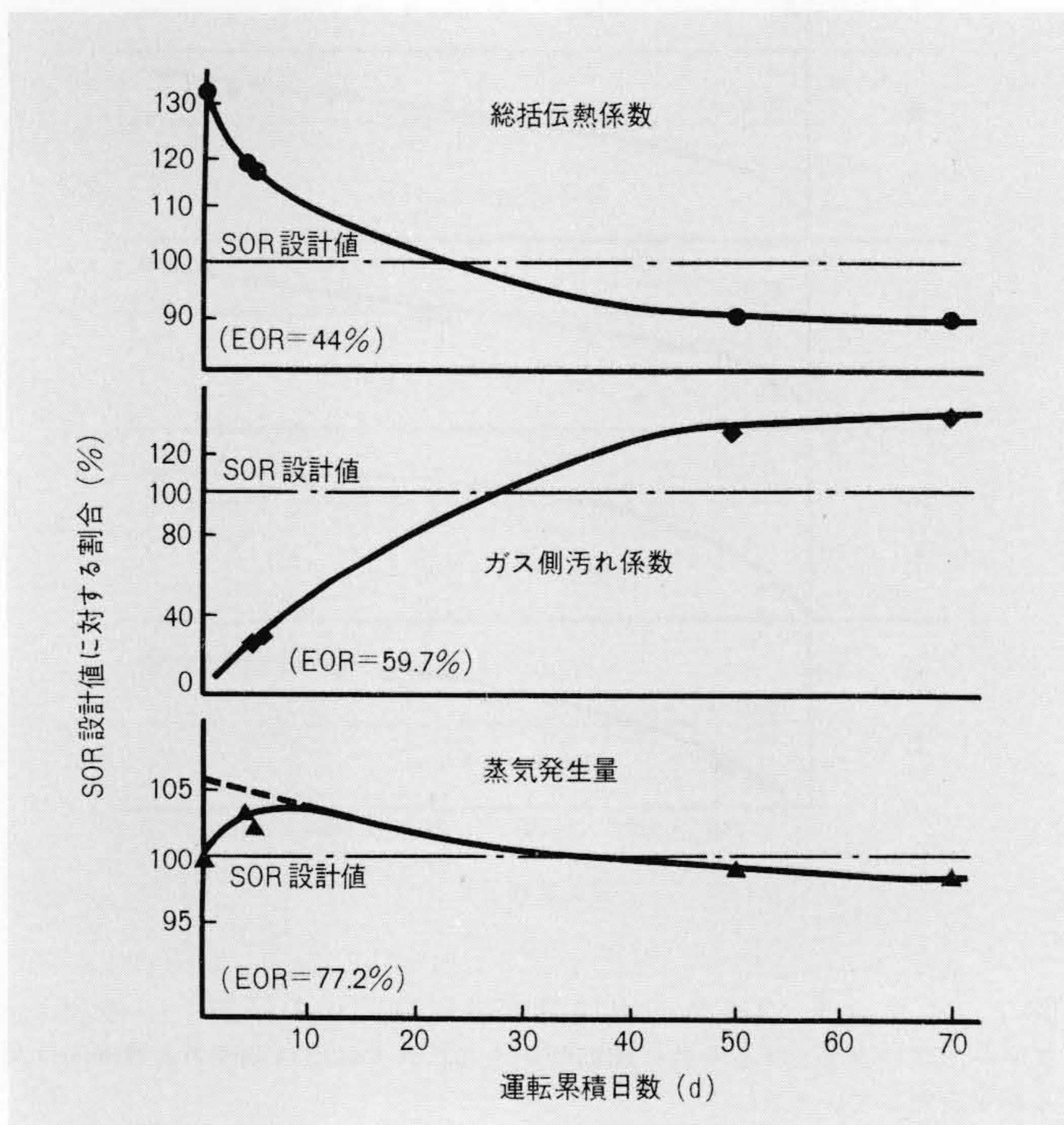


図9 二次クエンチャーの伝熱性能の経時変化 運転開始後70日目では十分安定し、増減傾向はみられない。運転停止点EORまでは、いずれの諸値も十分余裕を残しているが特に汚れ係数に対して大きい。

が確認できた。デコーキング インターバル推定の目的で、クーラー出口温度の上昇傾向を示すと図7のようになる。一次クエンチャーは、4基のうち2基は若干上昇傾向が続いているが、平均的には運転開始後70日目で上昇が鈍化し、鎮静している。デコーキングの限界であるEOR (End of Run) 点

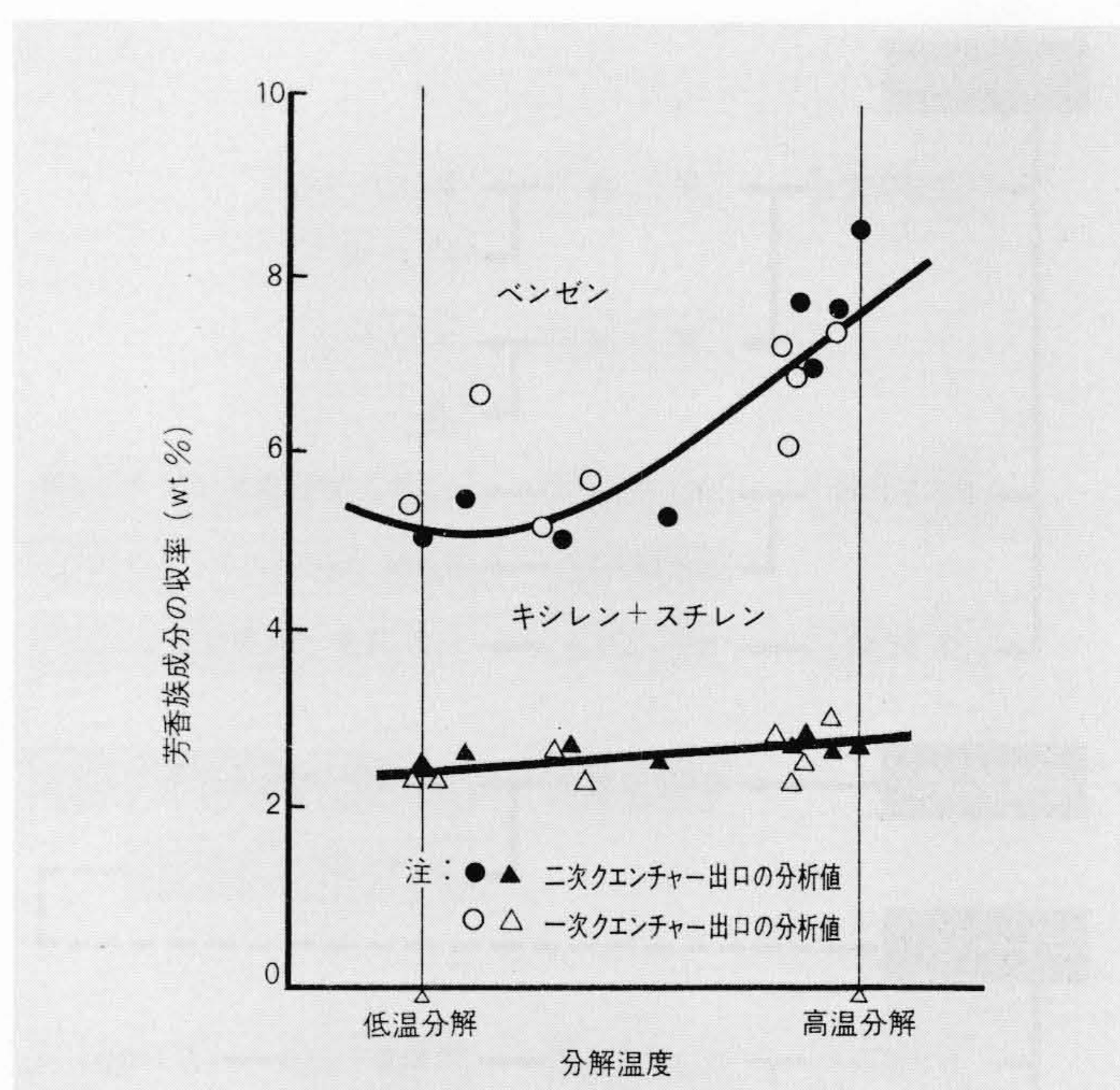


図10 分解温度と芳香族成分の収率関係 芳香族の分解生成物は、分解温度が高くなると増加傾向にあり、過分解凝縮分の度合を示しているが、二次クエンチャーの冷却過程での増加傾向は顕著でなく、著しい重縮合反応を起こしているとは考えられない。

ではまだ余裕を残しており、6ヶ月程度の連続運転は全く問題はないと考える。

二次クエンチャーについても、運転開始70日目では十分静定し上昇傾向は見られなくなっている。このままであると6ヶ月連続運転はもちろんのこと、それ以上の運転も十分可能であることを示唆している。参考までに伝熱性能に関する諸要因、すなわち総括伝熱係数、汚れ係数及びスチーム発生量の経時変化をSOR (Start of Run) 時の設計値を100とした比率で示すと、それぞれ図8、9のようになる。なお、SORとはデコーキング後のクリーンな状態を示す。運転開始初期は若干の変化を示すが、70日目では十分安定し、最終点EORの設計値までには十分な余裕を残していることが理解できよう。

二次クエンチャーでの高分子化合物の反応挙動の観察の一つとして、ベンゼンなど芳香族の成分変化を調べてみた。図10に示すように、高温分解になるほど収率は多くなり、反応性の活発なことが分かるが、二次クエンチャーの入・出口で特に差はみられないところから、二次クエンチャー内で重縮合の対象とはなっていないようである。

5 結 言

以上、新形の開発クエンチクーラーの考え方と、試作機の性能の一部を簡単に紹介した。これらに興味をもたれる大方の御批判を仰ぐ次第である。現在では、プラントの運転技術が進歩し、高度の計算機制御のもとに管理を行なっていると聞く。従って、一昔前と違ってデコーキング インターバルの伸展も著しいものがあるようであるが、更にいっそうの長期ランニングが可能となる飛躍したクーラーの要望は、今でもなお大きいと考える。

本稿で紹介した新形クーラーの試作開発に際し、共同開発に当たられた某石油化学会社関係各位の御指導と御協力に対し、心から感謝する次第である。