

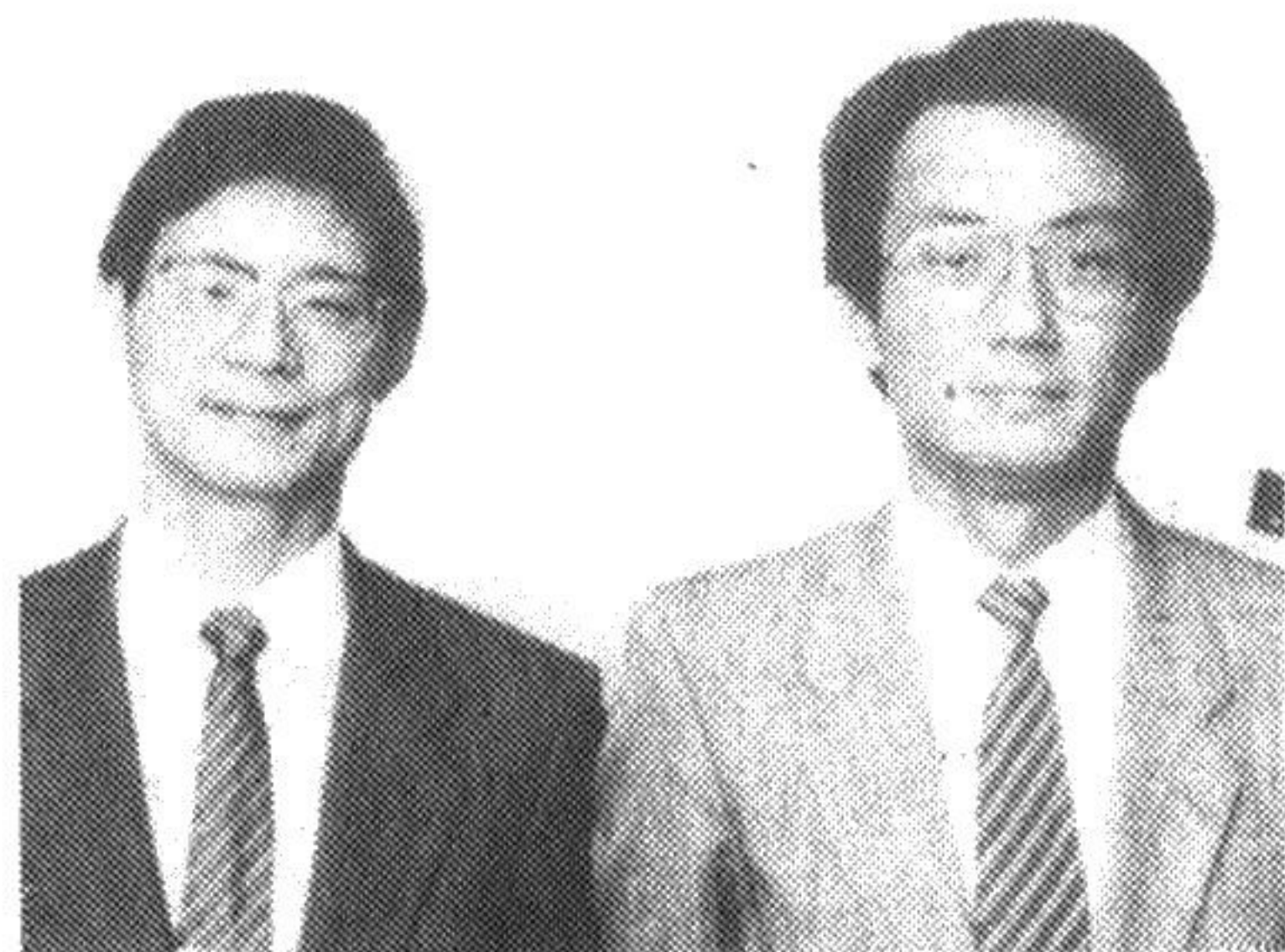


蒸発・蒸留の理論計算を行なう

——浅野・小菅研究室～化学工学科——



物質・熱の移動と蒸留



(左) 浅野康一 教授

(右) 小菅人慈助教授

蒸留操作は最も古く、かつ最も重要な物質の分離法の一つであり、紀元前から蒸留酒の製法として利用されてきた。現在でも、石油の分留などで化学工業に多大な貢献をしている。ところが蒸留操作は物質を気化させて、さらにそれを凝縮させるため、分離がどのように行われるかを知るためには、熱の移動と物質の移

動の両方を調べなければならない。

化学工学科の浅野・小菅研では、蒸留の分離性能の理論計算をはじめとして、蒸散などによる物質移動についての研究を行っている。今回は浅野教授に研究についてのお話をうかがった。



物質の状態変化と物質移動

物質には、気体、液体、固体という三つの状態があるが、液体を加熱するとその一部が蒸発して蒸気になる。この蒸気になり易さ、あるいは揮発性は一般に温度が高いほど大きくなり、また物質によっても異なっている。例えば水とエチルアルコールでは、アルコールの方が揮発性なので、アルコール水溶液を加熱すると、そのさい発生する蒸気中のアルコールの割合は元の溶液より大きい。当然のことながら、この蒸気を凝縮させると元の溶液よりアルコール濃度の高いものが得られる。これが蒸留の原理である。

ところで、ミクロ的にみると溶液と蒸気の接している表面近くでは平衡になっているが、少し離れたところでは別の濃度になっている。このため、液の表面で蒸発によって発生した蒸気は拡散によって移動する。だから、蒸留によってどのくらい分離できるかと言うことを知るためには、液体の蒸発と蒸気の拡散過程を調べる必要がある。

気相と液相が平衡に達するためには、理論的に無限の時間が必要であるが、実際の工学装置ではこのようなことは不可能なので、平衡にならないうちに蒸気を取り出して凝縮する。このため、拡散による物質の移動速度が大きな問題になる。

拡散による物質の移動速度は濃度差が高いほど大きい。これは熱の移動速度が温度差に比例するのによく似ている。このため、熱伝導の方程式と類似の関係式を使えば拡散現象の物質移動は解けるように見える。しかし、実際には物質の流れの問題もあり、また、物質が液体から気体に移るときには蒸発熱(潜熱)が必要であるから、熱の移動も考えなければ実際の物質の移動とはかけ離れたものになってしまう。そのため、本研究室では物質の移動の他に熱の移動も含めた物質移動のモデルを研究している。



液滴の蒸発過程を理論計算で求める

液相-気相の変化を利用するのは何も蒸留操作だけではない。物質の乾燥や気化を行うときにもこの変化が利用されているのである。一例として、スプレードライ法によるインスタントコーヒーの製造があげられる。

インスタントコーヒーはコーヒーの浸出液を乾燥させて、粉末にすることで得られる。このときスプレードライ法では、濃縮したコーヒー液を直径 100 ミクロン程度の微小液滴にして高い塔の上から霧状にして散布し、熱風を送って乾燥させる。霧状にすれば表面積が増え、液相と気相の接触面積が大きくなるので、蒸発速度は大きくなる。この方法は、インスタントコーヒーのほか粉ミルクの乾燥、洗剤の粉末化などにも使われている。

この他にも、液体から蒸気を生成する時にも霧状の液滴にすることが行なわれる。この実例が、自動車のキャブレーターである。

自動車のエンジンはガソリン蒸気と空気の混合物に点火する。これにはガソリンを霧状にし、蒸発させて蒸気にしなければならない。この時に使われるのがキャブレーターである。もし燃料の一部でも液体の粒子のままでシリンダーに送られるとすると、燃えやすいガソリンでも粒子が燃焼室内で高温にふれる時間はこ

く短く、表面での気化熱のために冷却されるため完全には蒸発しない。このようなことが起こると排気ガス中に非燃焼成分が混入してしまう。

さて、このガソリンをはじめとする揮発性液体微粒子の蒸発過程であるが、10年ほど前までは、前述したコーヒーのような水の微粒子の蒸発過程と同じ取り扱いがされていた。ところが実際に揮発油滴を使って実験してみると、このような取り扱いで求まるものと食い違ったデータが得られることがわかった。

揮発性の油滴では、蒸発による拡散物質の流れが空気の摩擦抵抗および熱の移動を減らす、という特徴がある。さらに液滴相互の干渉効果も存在する。たとえば上下に間隔がごく狭く位置する2つの液滴が落下するときには、下の液滴の影響で上の液滴の空気抵抗が小さくなるため、間隔が狭まってついには衝突してしまう、といったことも起こり得る。

そのため、浅野・小菅研では、これまでの計算方法に蒸発による熱・物質の移動の影響や液滴同士の干渉を加えシミュレーションを行った。すると、図1のように、既存のモデルにくらべて蒸発速度が遅いという結果が得られた。これは従来の計算方法より実測データに近いものである。このため、実際の蒸発のシミュレーションとしてはこのほうがより

正確な値を求めることができる。

もちろん、液滴間の干渉の影響が出るのは液滴間の間隔がかなり狭いときのみで、実際の使用においては大きな影響は及ぼさない。しかしながら、液滴が密集している環境では干渉効果が出てくるはずであるからそのような場合の物質の挙動を明らかにする上では干渉の影響による誤差は必要な要素である。

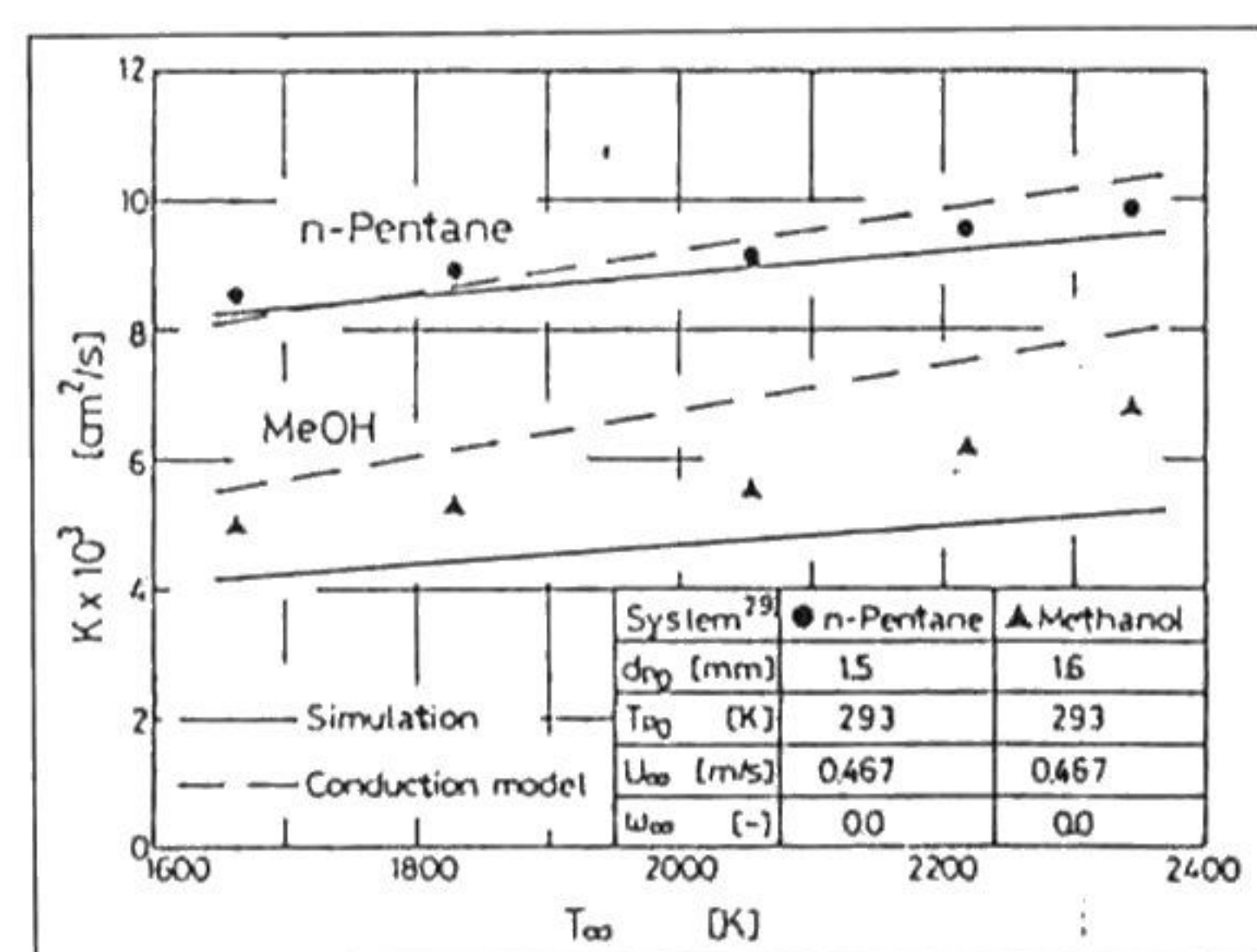


図1 液滴の蒸発定数のシミュレーション



蒸留操作の分離効率をより正確に求める

蒸発した物質を冷却してやれば、これは蒸留操作になる。最古の蒸留操作の対象物は酒である。これに関しては微量成分を無視すれば、水-アルコールの2成分の蒸留操作と考えられる。そのため、水の量がわかればアルコールの量がわかることになるから、比較的簡単に蒸留装置の

分離効率を求めることができる。

現在行われている主要な蒸留操作としては石油の分留による精製がある。これは元の液体が非常に多くの成分からなっているので、成分比率や揮発性の違いなどにより、蒸留時の分離効率を求めることは非常に困難である。一般に、2成分系に比べ

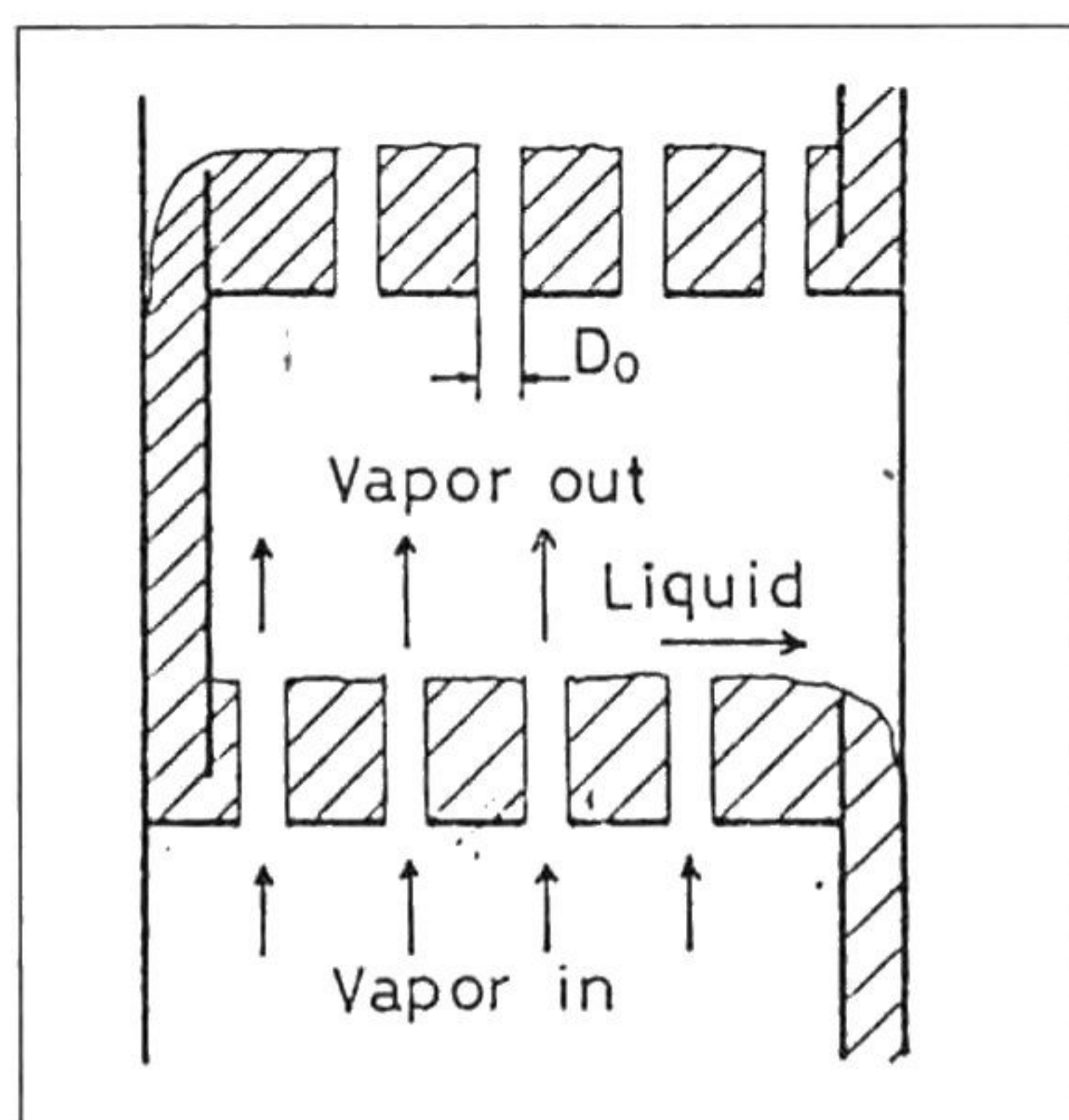


図2 多孔板塔の概念図

て3成分以上の多成分系では、分離効率を正確に求めることはきわめて困難になるのである。そのため、石油の分留のシミュレーションを行うには、3成分系の混合物での計算がまずできなければならない。また、蒸留も蒸散現象を含むので、熱の移動が物質の挙動に重要な影響を及ぼし、計算はさらに複雑になる。

石油の分留などの蒸留操作に現在一般に広く使用されているものは図2のような多孔板塔である。昔はこの各段による分離は、各段で気相と液相が平衡状態になっていると仮定して計算していた。ところが、実際に実験をすると既存の平衡段モデルでは実測値とうまく合わないことがわかった、そこで浅野・小菅研では

多孔板塔が安定して稼働しているときには、段上にたまっている液の中を蒸気が吹き抜けていることに着目して、この部分を図3のような円筒群で近似してシミュレーションを行なったすると、図4のように各段での分離挙動が実測値にかなり近い値で得られたのである。このような条件を取り入れたシミュレーションによって、現在では物質の分離挙動をかなり正確に予測できるようになった。

しかしながら、多成分系での拡散の流れが相互に干渉する効果や蒸気以外の気体による影響などの問題がまだ存在する。これはさらなる予測の高精度への今後の重要な課題である。

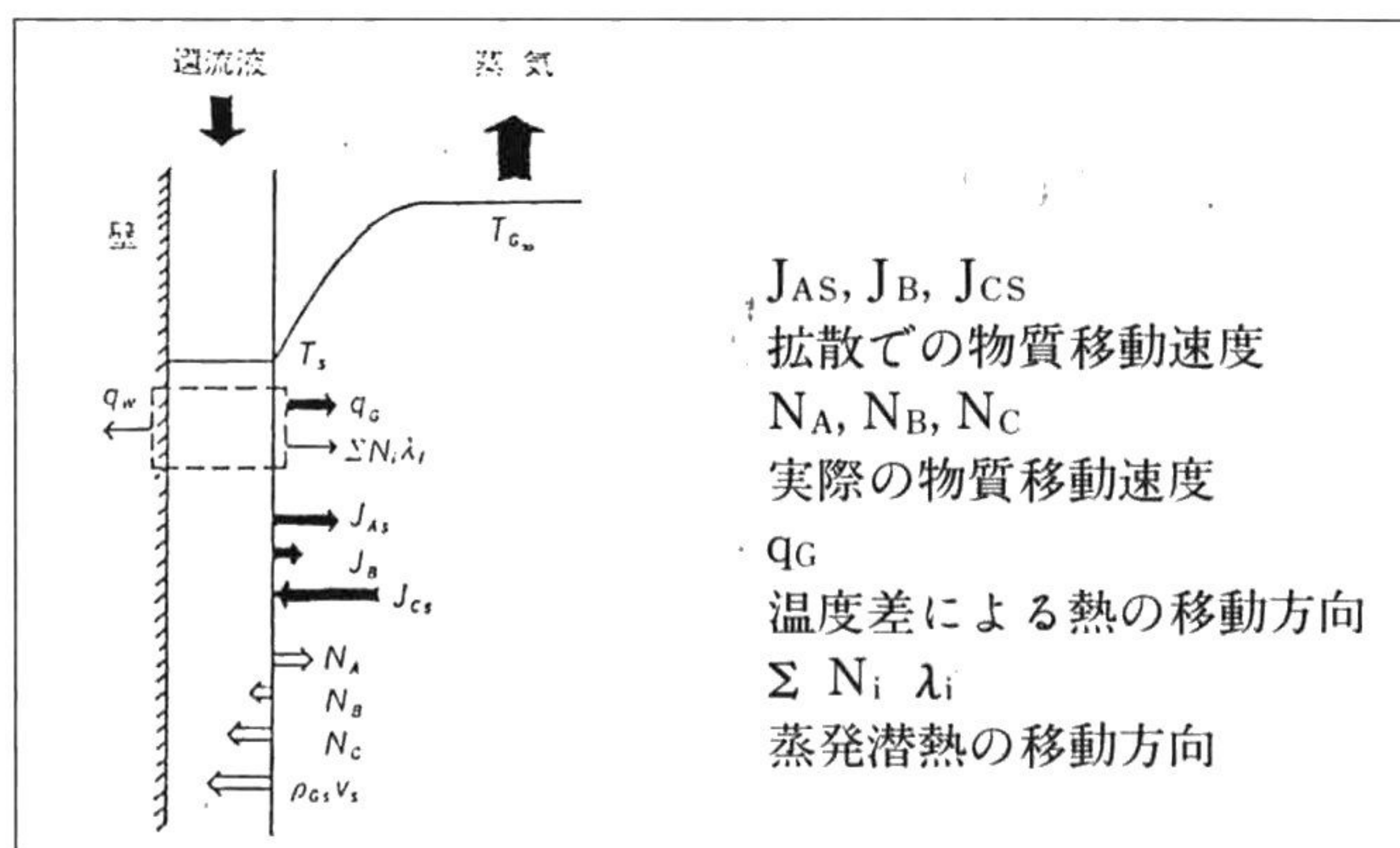


図3 円筒の壁付近の蒸留モデル

J_A, J_B, J_{Cs}
拡散での物質移動速度
 N_A, N_B, N_C
実際の物質移動速度
 q_G
温度差による熱の移動方向
 $\sum N_i \lambda_i$
蒸発潜熱の移動方向

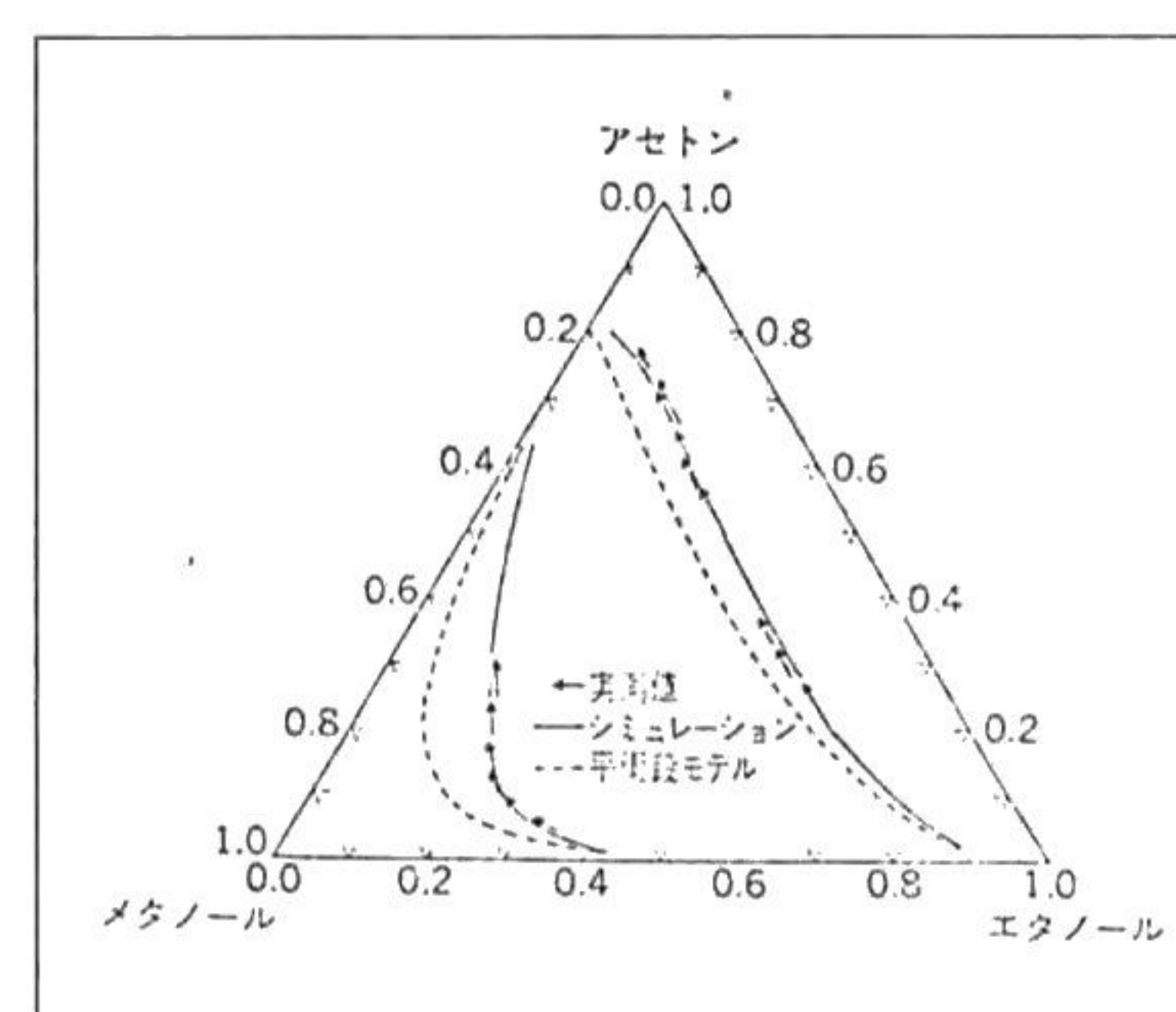


図4 三成分系蒸留の分離挙動のシミュレーション結果

今年は、化学工学科が発足してから50年に当たる。これは、ほぼ日本の化学工業の歴史と一致する。

化学工学科で扱うことはかなり地味で、しかも使用するテクニックは特に目新しいものではない。ところが、化学工学の発展にともなって日

本の工業は発展し、驚異的な経済成長をなしとげたのである。基本的なことを組み立てて生産手段につなげるのが化学工学の大きな柱なのである。これはごく地味な仕事ながら、軽視すれば技術の停滞は免れないのである。

浅野教授はお忙しい中、現在行っているごく基礎的な理論の研究を前述のような具体的な例をあげて、わかりやすく話してくれました。浅野教授には心からお礼申し上げます。
(黒田)