アンモニア，クロル—アルカリおよびエチレン生産における
国家経済政策モデル

ラッセル　G. トンプソン

今日政策変更を行なうに際し，産業界がその変更にいかに対応するか，あるいはまたその変更が，生産費用，投入されるエネルギーと水の利用コスト，資源の価値，また廃棄物排出にいかに影響を及ぼすかを前もって考察する必要があろう．一般に，産業界は，生産方法と処理方法の変更，エネルギー・水・資本など産業へ投入される入力の組合せの変更，また生産物・汚染物という産業からの出力の組合せの変更により政策変更に対処するものと考えられる．

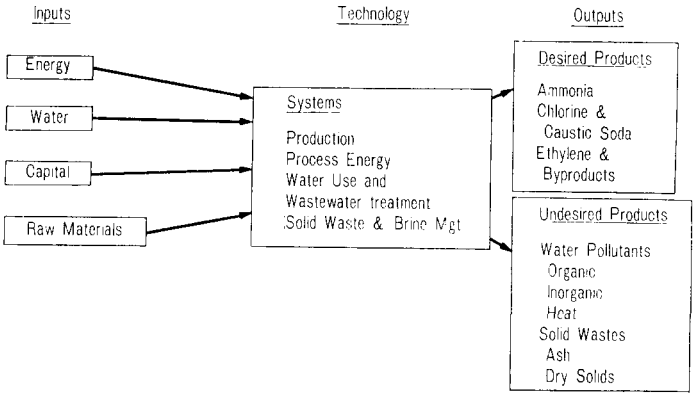
本稿の目的は，アンモニア，クロル-アルカリおよびエチレンの新設プラントを対象とし，産業界の経営者が主たる水系汚染物の排出制限政策に，いかに対処するかを示すことにあり，工業技術上の情報を広範囲の経済的枠組みに編入して得られた代表的モデルプラント[1~3]を用い，廃棄物排出制限が生産方法，生産費用，また水・エネルギーの使用にいかに影響を及ぼすかを評価するものである．

1. 解析の手法

アンモニア，クロル-アルカリおよびエチレン生産におけるモデルプラントは，生産，プロセスエネルギー，水利用，廃水処理，そして固形廃棄物と塩水の管理などの各システムからなる，工学的フローグラフを基礎として開発された．これらのモデルにより，上記の各システムにおけるプロセスの，政策変更に起因する，変更(置き換え)が確認されるとともに，その変更に対応するシステムの入出力が指定される．図・1にこの経済モデルにおける基本的構成要素を一般的に示す．

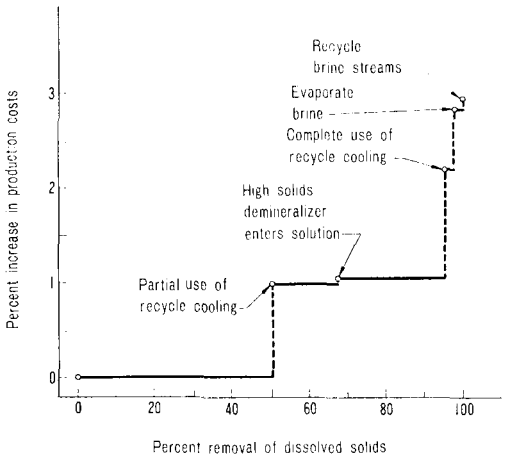
これらの線型モデルに対する最小費用解は，水系汚染に関するある排出基準を満たすうえでの最小費用のプロセスの組合せを与えるものであり，これらのモデルにより排出基準政策の決定が資源利用，廃棄物排出および生産費用にいかに影響を及ぼすかを評価することができる．

エチレンモデルにおける水処理システムはシングルトンら[4]により開発された水利用と廃棄物処理モデルにより導かれている．シングルトンモデルは冷却水および廃水に含まれる主たる成分，お

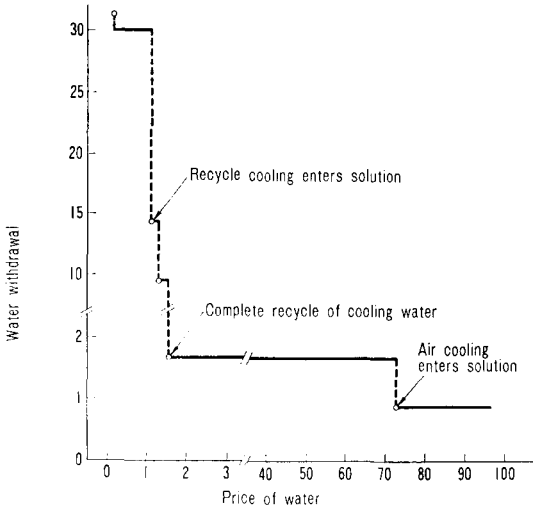


図・1　代表プラントモデルにおける基本的構成要素

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．



図・2 アンモニアプラントにおける溶解固形物除去パーセントと生産費用の増加



図・3 水価格と取水量

よびそれぞれの廃棄物処理ユニットの成分除去効率を個別に考察するものであり，水利用と廃棄物処理の非線形モデルにより処理ユニットの費用を推定する．各種のレベルの廃棄物濃度および廃水流量に関するこれらの推定は，体系的に線型プラントモデルに編入され，異なったレベルでの冷却水・廃棄物処理の要求を評価するのに用いられる．

アンモニアプラントモデル

新設のアンモニアプラントにおいて除去すべき汚染物は無機汚染物と浮遊および全溶解固形物である．全溶解固形物の廃出基準が厳しくなれば，生産プロセスにおける水の再循環を増加させねばならない．たとえば，溶解固形物の高率除去のためには完全な再循環冷却システムが必要となり，また完全除去のためには，ヒューストン地域とナフサ貯蔵設備に関しては，生産費用における3.2%の増加が必要となる．図・2は異なったレベルでの除去とその時の生産形成を示したものである．

取水価格が高くなれば，水から燃料への間接的な取り替えが行なわれる．この時，取水量が減少し，その結果，運転温度が上昇し燃料効率が下がるとともに水への熱排出が増加する．図・3はヒューストン地域に関する取水量とその価格との関係を示したものである．1.5セント/1000ガロンの取水価格の近くで貫流形冷却装置は冷水塔にとって替えられる．完全再循環を行なえば，プラント内での水使用は貫流形冷却に比べ約5倍となる．取水価格が1ドル/1000ガロンになれば，水系汚染排出がゼロの場合と比較しても，生産費用およびエネルギー使用が大幅に増大する．また同様のモデリング結果が Saginaw, Newark および Sacramento 地域に関して得られた．

クロル-アルカリプラントモデル

新設のクロル-アルカリプラントのモデルは水銀式電解プロセス，隔膜セルプロセスおよびこれら両者の結合プロセスをもとに作られた．隔膜セルプロセスからは，2種の無機汚染物(溶解および浮遊固形物)が排出され，水銀式電解プロセスにおいては，3種の無機汚染物(溶解および浮遊固形物と水銀)が排出される．水銀式電解プロセスプラントに関しては，水汚染ゼロを達成する工学技術は現時点では存在しない．

図・4はヒューストン地域を対象として，水銀式電解プロセスおよび水銀式電解プロセスと隔膜

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

セルプロセスとの結合プロセスにおける，水銀除去率と費用増加率との関係を示したものである．生産費用の増加の程度は前者より後者の結合セルプラントのほうが小さい．これは低コスト生産プロセスへの投資を奨励する一つの廃水政策を示す注目すべき一例である．

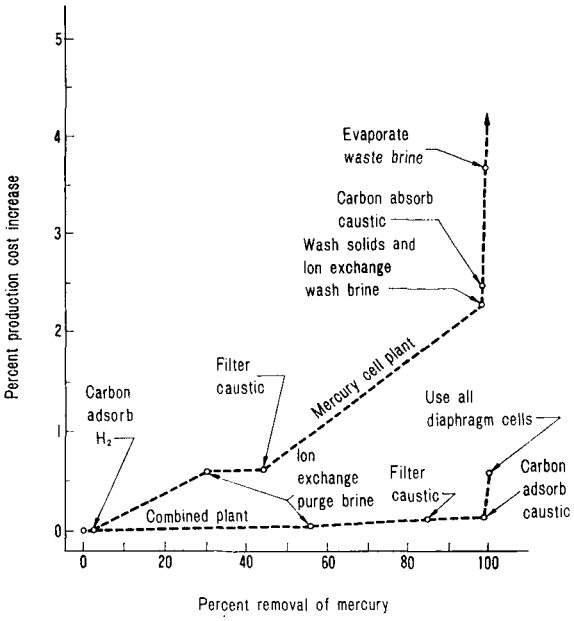
ヒューストン地域に関しては，水系汚染の排出をゼロにするためには，隔膜セルプラントにおいて5.6％の生産費用の増加が必要となり，また水銀式電解プロセスにおいて浮遊および溶解固形物の排出をゼロにし，水銀除去率を98.3％にするためには7.4％の生産費用の増加が必要となる．同様の結果が Saginaw 地域に関し得られた．

エチレンプラントモデル

新設のエチレンプラントからは，有機汚染物(オイル，BOD，CODおよびフェノール)と無機汚染物(浮遊および溶解固形物)の両者が排出される．有機汚染物処理の費用は加法的にはならない．たとえば，高いレベルでの COD 除去はより高位のBOD除去を達成する．

有機廃棄物は，一連のオイル分離，浮上分離，活性汚泥，炭素吸着ユニットにおいて処理される．炭素吸着ユニットからの流出物から重金属を除きその後の廃棄物の流れを冷水塔へ送ることにより，有機物の排出をゼロにすることができる．このとき冷水塔では幾分かの汚染物除去が行なわれ，また COD の濃度を許容範囲に保つために冷却水中の浮遊物は炭素吸着ユニットに再循環される．プラントの流入水に含まれる浮遊固形物は凝集沈澱，沪過，濃縮により除去される．溶解固形物はイオン交換による鉱物除去，およびそれに引き続く濃縮塩水の蒸発により除去される．

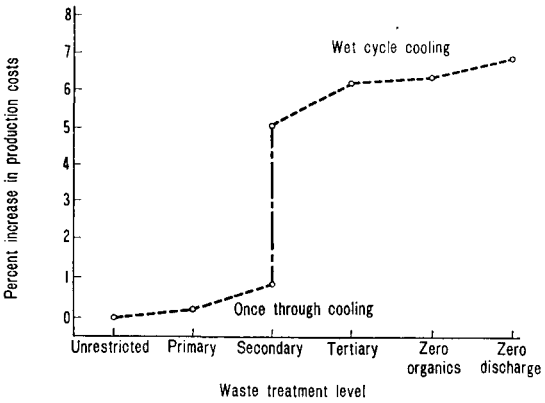
水中の熱を消散させるうえでの冷水塔は多量の水を蒸発させ，水中の全溶解固形物の濃度を高めるため，補給水が必要となる．しかしながら，溶解固形物の排出が認められない時には，ボイラーへの水の再使用のため，冷水塔での浮遊物処理にイオン交換法が採用される．イオン交換装置における濃縮塩水流は蒸発され乾燥した固形物として蓄積される．活性汚泥装置からの汚泥は脱水され焼却される．



図・4　水銀式電解プロセスと結合セルプロセスによる塩素－カセイソーダプラントにおける水銀除去率と生産費用

廃水処理を行なわない場合の生産費用を起点とし，図・5は2次処理を行なえば貫流形冷却の場合には0.8％，また冷水塔の場合には5.2％生産費用が増加し，さらに3次処理を行なえば6.3％の増加となることを示している．さらに有機汚染物の排出をゼロに制限すれば6.4％増の生産費用，有機および無機の両汚染物の排出をゼロとするには7％増の生産費用が必要となる．他の地域，他の条件の場合にも同様の結果が得られた．

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．



図・5 エチレン生産費用における環境政策の影響

2. モデルの拡張と使用

前述のプラントモデルを結合し，標準産業分類(SIC；発電,石油精製,有機化学，プラスチック，合成繊維，チッソ肥料，合成ゴム，アルカリと塩素,無機化学)における各種の産業構造経済モデルを開発した．さらにこれらの SIC モデルを結合し，主たる水使用産業に関する総合経済モデルを開発した．これらSIC産業モデルおよび総合産業モデル開発の目的は，近年の廃棄物排出基準およびエネルギー・水の欠乏が，これらの産業における生産方法，資源利用，廃棄物排出，生産費用にいかに影響を与えるかを評価することにある．総合モデルによる資源価値の評価は，全産業界全般にわたる価格の影響を含んでいるものであり，この価格の影響は推定される入力の限界価値と出力の限界費用に含まれる．

この総合モデルが，終端生産物の需要を考慮した，価格に対する消費者応答モデル，および原油と天然ガスの供給を考慮した，価格に対する生産者応答モデルとに結合されたときに，この総合モデルの最も重要な適用の一つが行なわれるといえよう．この結合モデルは廃棄物排出基準と石油燃料の欠乏が，広く産業界全般の需要と供給との関連において，下記４項目に及ぼす影響を評価するものである：(1)生産費用，(2)生産形式，(3)エネルギー・水・原料・資本の入力の組合せ，(4)電気・石油燃料・天然ガスの生産物の組合せ

また同時に，この結合モデルは，排出基準が以下の市場価格に及ぼす影響を広く産業界全般にわたり予測するものである：

(a) 天然ガス・原油・石炭

(b) 電気・天然ガス・ガソリン・燃料オイル

初期の研究結果は，かぎられたいろいろの資源を各産業が同時に希望するという点を考慮することの重要性を指摘している．水汚染に対する比較的ゆるい環境基準(２次処理と貫流形冷却)から排出ゼロというきびしい基準への移行は生産費用における20%の増加，必要資本における30%の増加また天然ガス埋蔵地価における25%の高騰を引き起こすことになる．　(訳：京大　荻野勝哉)

参 考 文 献

1) *Water Resources Research*, **10**, 650-658, 1974.
2) 同上, **11**, 515-525,, 1975.
3) Stone, J.C. 他；近刊，同上
4) Singleton, Jr., F.D. 他；*Proc. 2nd Nat. Conf. on Water Reuse*, Chicago, May 6, 1975.

執筆者紹介

ラッセル　G. トンプソン　ヒューストン大学
1929年生　専攻：計量経済学
略歴：テキサスA&M大学助教授，ミズリー大学准教授，テキサスA&M大教授を経て現在に至る．

本研究は National Science Foundation Grant No. GI-34459-2（研究代表者ラッセル　G. トンプソン）に関連して行なわれたものである．

■原文ご希望の方は，京大工学部・椹木教授までご連絡ください．

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．