東京ガスにおけるORの適用事例

笹山 晋一，山上 伸，北澤 英理子，鴫谷 あゆみ，片瀬 成識

日本の都市ガス事業は，生産・輸送・販売を一貫して行う形態が一般的で，これは電力業界とも共通した特徴である．ただし，欧米では，原料である石油・石炭・天然ガスの採掘からを含めて「生産」と言うのに対して，日本では原料調達を海外に依存して，「生産」は都市ガスとしての製品加工の段階を指すことが多い．従来は石炭乾留や石油（ナフサ）の改質により都市ガスを生産していたが，現在は液化した天然ガス(LNG)を気化させて，LPGと混合し熱量等の性状調整をして送出するという形式をとっている．

以前は，石油改質装置などのさまざまな化学プラントが都市ガス工場のシンボルであり，複数種類の原料と生産装置が混在していた．そのため原料調達計画から生産計画までの幅広い分野でコストミニマムを求めて，LP等の数理計画手法が適用され，数十億円という規模の効果を上げていたが，現在の主要装置はLNGに海水をかけて気化させるというもので，化学的な要素はなく，ポンプの機動電力や蒸気の生産といった機械的な色彩が強い．

まず紹介する事例は，最新ガス生産工場の，電力需給バランスを考慮した例で，ポンプの消費電力と生産量の関係が非線形であることから，動的計画法を用いて，工場のユーティリティ計画を作成している．

1．事例1：生産プラントの最適オペレーション

(a) モデル化

近年では，生産コスト削減のため，自家発電により電力を賄う設備として，気化エネルギーを利用した冷熱発電機や，ガスを焚いて電気と蒸気を併給するコージェネレーションシステムも導入されている．その結果，ある生産量のガスを生産するのに，運転するプラントの組合せが広がり，系統的なプラント運転計画が必要となった．そこで，装置の稼動状況をモデル化しランニングコスト最小となるプラント稼動計画を求めて運用している（図1参照）．

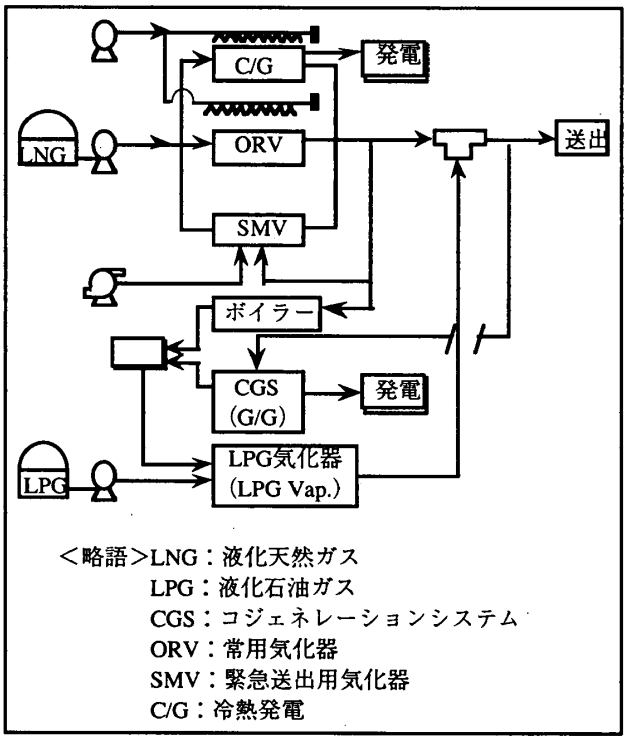

図1　工場プラントの概略図

各プラントはガス，電力，スチームをそれぞれ消費または生産するため，稼動計画はこれらのマテリアルバランスをとるように作成される．原料の液化天然ガスには組成が異なるA，Bの2種類のガスがあり，操業上の制約条件として次のようなものがあげられる．

(1) 原料Aは，10日ごとに一定量使用しなければならない（タンク容量の制約）

(2) ガスの品質管理上，原料A使用量は7割以下とする．等

計画作成は，1期1時間とし，10日（240期）分をま

ささやま　しんいち，やまがみ　しん，きたざわ　えりこ，しぎたに　あゆみ，かたせ　まさのり
東京ガス㈱　〒105 港区海岸1-5-20

© 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．

とめて行っている．

実際には各1時間ごとの生産量が需要にもとづき決定されるので，プラント稼動計画は各時間単位に作成するが，(1)の制約により，各時間ごとに運転経費を最小化しても問題の解決にはならない．しかし，各時間の原料Aの使用量が決まれば，総生産量から差し引くことで，原料Bの使用量が自動的に決まるので，この問題は，各時間の原料Aの使用量を求める問題に帰着される．

第J期の原料Aの使用量をx_j，その場合の最小ランニングコストを$F_j(x_j)$，10日間での原料Aの（固定）使用量をwとしたとき，この問題は，

$$G(w)=\min\sum_{j=1}^{240}F_j(x_j)$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{j=1}^{240}x_j=w$$

と定式化できる．

(b) 結　果

実際の$F_j(x_j)$は，不連続な区分線形関数であり，整数計画法を用いてこの問題を解決することもできるが，ここでは，x_jが0～25万m³の範囲で変動するため，5千m³刻みに0，5千，1万・・・と50区分に離散化して，動的計画法によって解を求めた．計算時間はIBM3090で5～6分であり，区分数，計算時間とも実用可能なものとなった．

さて，工場で生産された都市ガスは，数十気圧に昇圧され高圧導管に注入される．さらに，整圧器を経由して中圧・低圧へと漸次降圧され，最後は支管から地境の供給管を経て顧客の元へ届けられる．都市ガス産業の特徴は，これら複数の圧力レベルのガス導管をネットワーク状に形成していることで，このインフラ形成に莫大な投資をしてきている．

面白いことに電気と同様，ガスでも一種のオームの法則（圧力と流量の関係，ただし非線形）が成り立ち，それと，ネットワークフロー一般に成り立つキルヒホッフの法則を利用して導管網の構築を行うわけであるが，これらのネットワーク形成を効率的に行うためにOR手法が適用されている．すでに社内では計算機システム化されていて，設計現場で最適導管網計画が策定可能となっている．

一方，構築したガス導管の維持管理にも，多くの費用をかけており，ガス漏洩等の事故を起こさずに，かつ効率的な運用体制をしくことを絶えず実践している．

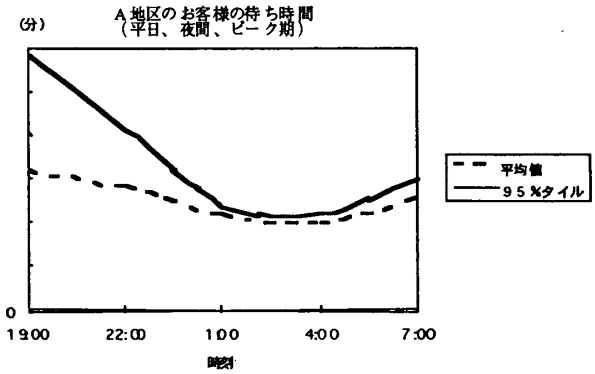

図2(1)　シミュレーション結果例1：
A地区の顧客の待ち時間（平日，夜間，ピーク期）

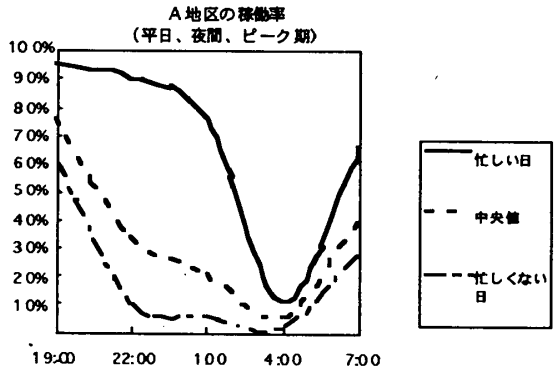

図2(2)　シミュレーション結果例2：
A地区の要員の稼働率（平日，夜間，ピーク期）

次の例は，そのようなガス導管の維持管理のために24時間交代勤務制で緊急出動に対応している職場の要員・車輌配置の効率化に関する適用事例である．

2．事例2：シミュレーションによる保安要員の最適配置

(a) モデル化

緊急保安出動体制を，漏洩出動業務の発生，出動拠点から現場までの移動時間，漏洩の修理作業時間，要員の数，事故対応の優先順位などの特性を明らかにすることで，離散型シミュレーションモデルとして定式化した．漏洩出動業務の発生については，ブートストラップ法を用いて，確率的シミュレーションを行っている．

(b) 評価基準

サービスレベルを表わす指標として顧客の待ち時間を，また作業効率を代表する指標として作業員の稼働率を採用した．なおここでは単に平均的なサービス状況を評価するだけでなく，サービスレベル(待ち時間)の分布をも評価している．また，季節，曜日および時刻によりこれらの指標は大きく変わってくる．シミュ

© 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．

レーションでは，要員配置を変化させて，地区別にピーク期およびオフピーク期の2期に対して，平日，土曜日，日祭日の3種類の場合について，各々時刻別に指標を比較検討している．

(c) 結　果

シミュレーションの結果，人員配置を変更することによって，より一層保安レベルが上昇することが確認され，この結果をもとに，保安要員の再配置計画が進められている．

東京ガスでは，保安レベルの維持に努力する一方で，ガス料金を低減するための販売量拡大に腐心している．とはいえ，営業マンが鞄にガスを詰めて売り歩くわけにはいかず，ガス会社の販売促進活動＝ガス機器（システム）販売活動という図式が描かれる．次に紹介する事例は，東京ガスが保有する販売チャネル網に対して，リベート政策を通じてガス販売量増大を狙ったケースである．

3．事例3：ゲーム論を用いたガス機器販売促進策

(a) モデル化

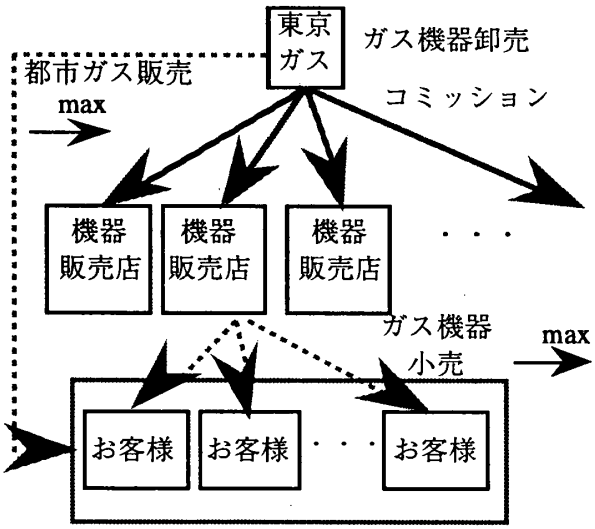

図3　東京ガス・機器販売店・お客様の関係

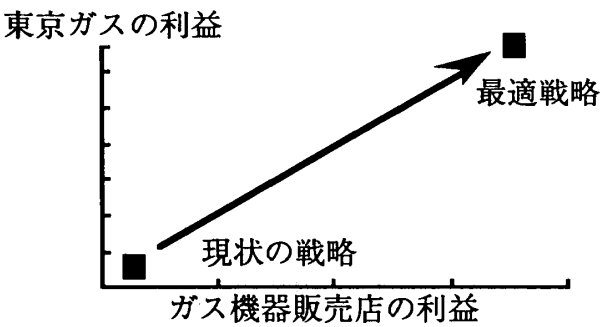

図4　シミュレーション結果

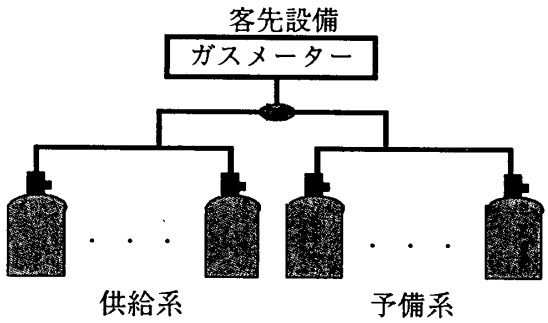

図5　LPGボンベ

ガス会社と機器販売店網の関係は次のように記述される：

はじめにガス会社がガス販売に貢献する機器に対してより多くのリベートを提示する．次に，機器販売店がリベートを含む機器の収益性と労働投入量などの制約を考慮しつつ機器販売を行う．ガス会社はこの際の機器販売状況を見ながらさらに有利なリベートを提示する，というサイクルを通して双方にとって最適な戦略を探る．なお，機器販売店のモデル化に際して主要な変数と考えられる小売価格は価格弾力性を考慮した．さらに限界的には労働投入量に対する販売台数は低下するという関係をAHPを用いて定量化するなどの工夫を行った．

この関係はガス会社が先手で，機器販売店が後手のStackelberg型の問題としてモデル化され，それを通して最適なリベート体系を模索した．

(b) 結　果

シミュレーションの結果，ガス会社，ガス機器販売店・顧客の3者にとってメリットのある戦略を見出すことに成功し，実際に営業戦略にも反映されている．

東京ガスは，一株式会社という立場から，ガス事業の周辺に関連事業を展開しているが，その中での適用事例を紹介する．

都市ガスの導管網形成には莫大な投資が必要なことは上述したとおりで，したがって，導管投資に対しては厳しい費用対効果のチェックを行っている．そこで，必ずしも導管による都市ガス供給が費用的に折り合わないケースでは，LPGによるガス供給という手段が考えられる．東京ガスでもグループ内にLPG供給会社を有しているが，そこでの独特の課題がLPGボンベの効率的な配送である．ただし，効率にばかり目がいくと，顧客先のボンベが空になるという問題があり，ガス切れなし（制約条件）に効率的な配送を行うこと（目的関数）が求められる．そこで，自動検針と新し

© 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．

表1　シミュレーションのケース

ケース	配送ルート	自動検針	ボンベ設置数
A	現状	×	現状
B	現状	○	現状
C	新方式	○	現状
D	現状	×	供給系を倍
E	現状	○	供給系を倍
F	新方式	○	供給系を倍

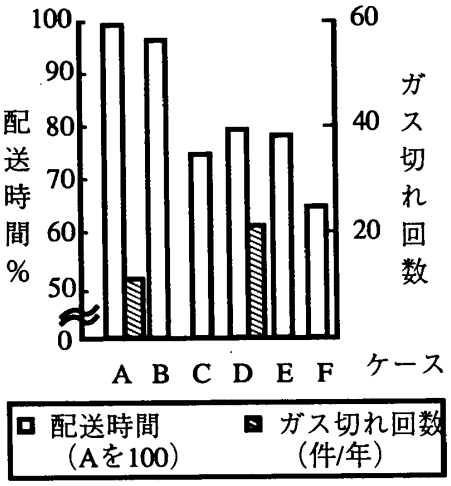

図6　シミュレーション結果

い配送方法を組み合わせて，配送業務の効率化がどの程度可能かを，多期間VRP (Vehicle Routing Problem) としてモデル化しシミュレーションにより確認した．

4．事例4：LPGの効率的配送

(a) モデル化

(1) 現行配送業務

・顧客の元には，供給系と予備系の2つの系のボンベが設置されている．通常は供給系ボンベ内のガスが使われる．供給系ボンベが空になると切替弁が作動して，予備系からガスが供給される．(図5参照)

・ボンベの交換は，供給系がなくなると予測される時点で行われる．

・供給系ボンベがなくなる日の予測は，過去の検針結果およびその他の需要家情報を考慮して推定する．しかし，現状では自動検針が導入されているケースは希で，この予測はあまり精度が良くない（したがって，供給系がなくなると予測した日に客先に行ってみると，まだガスがたくさん残っていたり，逆に予測日の前に予備系のガスまでなくなること，すなわちガス切れが起きることもある)．

(2) 新配送方法

配送ルート，ボンベ設置数および，ボンベ交換日の決定方法について，新しい方法を提案する．

・配送ルート：独自の新アルゴリズムを用いて，より効率的な配送ルートを決定する．

・自動検針の導入：残量予測精度向上策として自動検針を導入し，その情報をもとにボンベの交換日を決定する．

・ボンベ設置数：配送回数削減策として，供給系のボンベを倍増して顧客先に設置する．

(3) シミュレーション

新配送方式と現行の方法についてシミュレーションを行い，配送ルート決定のアルゴリズム，ボンベ増強および，自動検針の導入の効果を検証した（表1参照)．

(b) 結　果

シミュレーションの結果，配送ルートの変更，自動検針導入により約25%，さらにボンベ増強により約35%の配送時間の短縮が可能であることが判明した．この結果により新アルゴリズムの有効性および，自動検針システムのこれまで考えられていなかった付加価値が確認された．

以上，東京ガスにおける適用事例を，生産・輸送・販売および関連事業という業務の流れの中で紹介してきたが，ご意見・ご忠告をいただけると幸いである．

© 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．