

物流インフラストラクチャと数理計画

美濃 順亮, 山口 裕人

1. はじめに

第1次と第2次のオイル・クライシスが与えた影響は物質文明の限界を示したばかりではなく、なにごと地球規模で影響しあい、もはや一企業、一地域、一国家の出来事では留まり得ないことを示した。いわゆるボーダレス経済、グローバリゼーションの芽生えであった。日本がオイル・クライシスを乗り越えられたのは、ひとえに小集団活動によるところが大きかったが、グローバリゼーションが意味する情報の地球規模での透明化の結果として、もはや小集団活動に代表される局所的な最適化経営の終焉でもあった。このことに気づいた経営者は、より大局的な最適化を求めて企業体質のリストラクチャリングを進め、一方で地球規模でより本質のみが競合して生き残れる、との認識から基礎研究を含めた企業基盤の強化に努めるようになった。

また近代工業化時代における企業活動の要素は“物質”と“エネルギー”であったが、“もの”の成熟化による消費者の個性化・多様化が進んだこれからの情報化時代においては、これまでの2つの要素に“情報”を加えないと、狙いとする目的を達することができなくなってきた。いわゆる、これからの時代は“情報”をインフラストラクチャとして位置づけ、その“情報の流れ”によって“物質やエネルギーの流れ”が制御される時代であるといえる。従来の大量少品種生産に適していた“バッチ生産”から消費者の購買の多様化に対応した少量多品種生産のための“流れ生産”に変革するためには、消費と生産をつなぐ“物流”を中流に位置づける双方向の企業情報システムが重要な役割をはたす。たとえば図1に示す多段階生産在庫モデルにおいて生産・流通・販売に至る情報が統合化され意思決定されると、意思決定が分断されることによって発生するデカップリング在庫が減少して、生産原材料や製品の在庫を最小化することが可

能となる[1, 2]. ここに、①“情報”と“物”の分離、②従来の小集団活動などに代表される局所最適化の積み上げではなく、情報の統合化にもとづく大局的な最適化が求められ、発想の転換が要請されているゆえんがある。

こうした社会環境の変革を背景として、数理計画やシミュレーション技術を基盤とする総合的で戦略的な次世代物流システムの構築が重要となってきた。また、前提となる情報の統合化についてもコンピュータとネットワークあるいは人工知能などの技術を中核とする情報処理技術の進展により、まさに情報化時代の条件が整ってきたといえる[3].

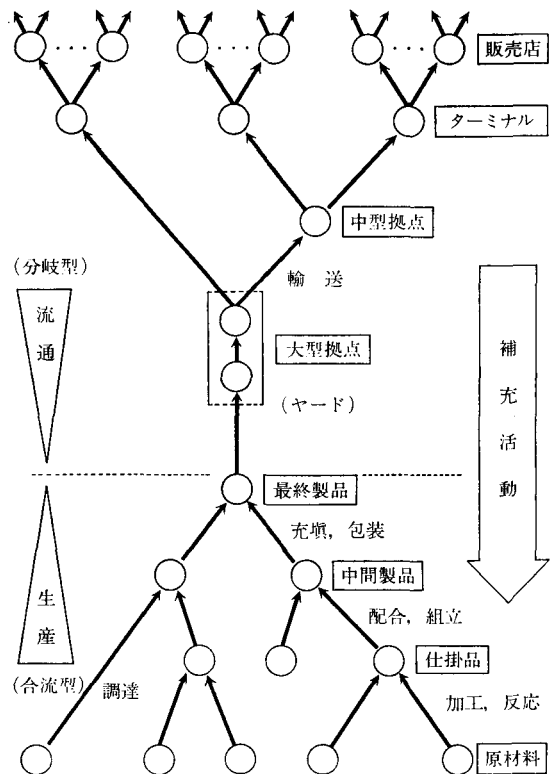


図1 多段階生産在庫モデル

みの じゅんりょう, やまぐち ひろひと
花王(株) 文理科学研究所 〒131 墨田区文花2-1-3

2. 次世代物流の考え方

商品寿命の短縮化と多品種少量生産に対応するためには生産と販売の一体化、すなわち「生販一体化」をはかることが必要となる。多段階生産在庫モデルにおいて「物流」は「生産」と同じ意味を持って、そのはたす役割は企業活動の“流れ”をつくる重要な役割を担うことになる。“流れ”があってはじめて「在庫の最小化」や「売れ筋・死に筋商品の把握」「生産・販売のリードタイムの短縮化」などが可能となるからである。物流にかかわる要因としては、

①ニーズの多様化にもとづく商品需要構造の変化、②需要地構造の変化、③小売業態の多様化とサービス（納品時間の指定、納品精度、少量多頻度配送など）の高度化、④都市交通網の変化、⑤輸送手段の多様化、⑥生産システムとの連動化、⑦情報処理インフラストラクチャの变革などが考えられるが、戦略的物流システムを考えるにあたって問題を難しくしているのは、これらどの要因をとっていても常に時間軸によって変化することにある。したがって戦略的物流システム構築の肝要は、基盤となる情報インフラストラクチャの構築と同時に、いかに柔軟な設備システムとなすかにかかっている。

2.1 物流インフラストラクチャの設計

物流にかかわる情報帯域に対して物流にかかわる活動を対応させると図2に示すようになる。この時間帯域によって、たとえば物流運用にかかわる短い時間帯域では機械制御が、中位では輸送制御が、物流設計にかかわる長い時間帯域では計画や企画の制御が対応し、それぞれの情報帯域に応じてそれぞれの情報制御がなされなくてはならない。当然これらの情報制御が物流にかかわるすべての情報帯域にわたって連動することが肝要となり、ここにシステムとして位置づけた物流設計の項目が抽出される。

- 1) 単位需要地点での需要予測
- 2) 需要地のエリアリングと物流拠点配置の決定
- 3) 配送計画のためのゾーニング
- 4) 配送トラックのルーティング

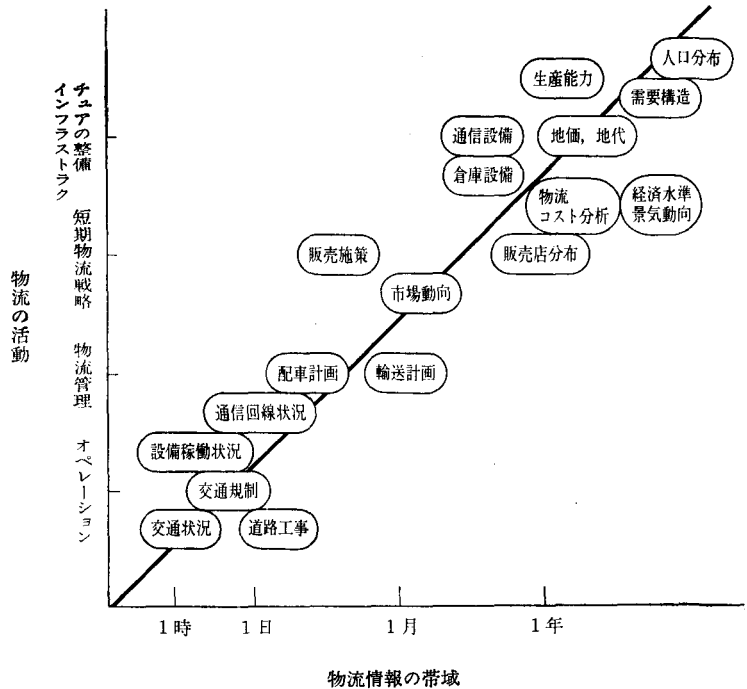


図2 物流情報の帯域と物流活動

ここに数理計画[4]とシミュレーション技術が大きな役割をはたす。ここでいうシミュレーションは模擬実験で複雑な系に新たな環境(境界)条件を与えた場合の現象の変化や状態を推定する手法をさし、実際に実験が不可能で事前に評価が必要な場合に有効である。またシステムの構築にあたっては技能的な要素も介在し、システム化が遅れて経験的知識に依存している分野については知識工学の導入に、また大量の計算処理に負うところは、数理科学からの新アルゴリズムの開発が必要となる。内点法で線形計画法を多項式オーダーの計算量で解くKarmarkar法(AT&TによるKORBXシステム)[5, 6]は知的所有権の行使でも話題をまいたが、特に運用にあたっては効率的な求解アルゴリズムが必要となる。

3. 物流拠点の設定とエリアリング

施設配置問題[7]で、ここではモデルとして北海道を例にとり、道内の需要地に日用品を配送することを考えてみよう。北海道は需要エンタロピーからみると、需要地は比較的広域にわたって分散し、欠品のなくまなく商品配送するためにはよほど合理的な地域分割とルーティングを設計しないと費用対効果が見合わなくなる。

苫小牧をロジスティックセンター(大型拠点、商品の

店別細小分け機能を持つ倉庫)あるいは消費工場と見做し、そこから道内の25都市(苫小牧を含む)に商品供給するために、ある程度の倉庫機能を有する中型拠点、およびコンテナの積み変えのみを行なう配送拠点の立地を決定するモデルを考えてみよう。ここで、中型および配送拠点は供給地25都市のうち1都市が複数の拠点機能を兼ねることができるものとし、販売店はモデルとして1都市1販売店として代表させることにする。

結論として、経費およびサービスレベルの視点から、道内に4~5カ所の中型拠点を設置する必要があること、およびその立地と配送のエリアリングなどを決定することができる。

1) 都市需要:日用品であるから、需要は人口に比例して1000人当たり60梱を消費すると仮定する。

2) 輸送モデル:ヒッチコック型の輸送問題を応用し、以下のようなネットワークモデルを設定、混合型整数計画法によって定式化することができる。

3) 前提条件:

- ① 中型拠点から配送拠点までは4時間以内で到達可能(道内の平均走行速度は50km/hr)。
- ② 200kmを超えて拠点設定する場合にはペナルティ関数を負荷。
- ③ 運送費は距離の関数とし、相当りの輸送費(大型拠点→中型拠点,セミトレーラ)<リレー費(中型拠点→配送拠点,セミトレーラ)<配送費(配送拠点→販売店)とする。
- ④ 配送能力(車数)および倉庫(在庫)能力の制約はないものとする。
- ⑤ 拠点の固定費および変動費は扱ひ量のみに比例するものとし、地域差は考慮しないものとする。

3.1 混合型整数計画法による定式化と結果

上記モデルでは、制約式625,変数1100内意思決定変数(0-1変数)50となり、実際上計算が不可能となるため、①大型拠点→中型拠点→配送拠点(中型拠点決定モデル),②中型拠点→配送拠点→販売店(配送拠点決定モデル)の2つのモデルに分割して計算することが賢明である。

1) 中型拠点決定モデル

$$\begin{aligned} \text{目的関数} &= \sum (P1 * Cm_{ij} * y_i) \\ &\Rightarrow \text{大型拠点} \rightarrow \text{中型拠点への輸送費} \\ &+ \sum (Cm_{ij} * x_{ij}) \\ &\Rightarrow \text{中型拠点} \rightarrow \text{配送拠点のリレー費} \\ &+ \sum (Co_i * y_i) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\Rightarrow \text{中型拠点での変動費総額} \\ &+ \sum (Cf_i * Zm_i) \end{aligned}$$

\Rightarrow 中型拠点の固定費総額

$$\begin{aligned} \text{制約式} \quad &\sum x_{ij} = d_j \quad ; \quad \sum x_{ij} = y_i \quad ; \\ &y_i \leq M * Zm_i \quad ; \quad Zm_i = 0 \text{ or } 1 \quad ; \\ &x_{ij} \geq 0 \quad \quad ; \quad y_j \geq 0 \end{aligned}$$

2) 配送拠点決定モデル

$$\begin{aligned} \text{目的関数} &= \sum (P1 * Cm_{1a} * w_a) \\ &\Rightarrow \text{大型拠点} \rightarrow \text{中型拠点 } a \text{ への輸送費} \\ &+ (Cm_{aj} * x_{aj}) \\ &\Rightarrow \text{中型拠点 } a \rightarrow \text{配送拠点のリレー費} \\ &+ \sum (Cs_{jk} * y_{jk}) \\ &\Rightarrow \text{配送拠点} \rightarrow \text{販売店への配送費} \\ &+ \sum (Co_a * w_a) \\ &\Rightarrow \text{中型拠点 } a \text{ での変動費総額} \\ &+ \sum (Cs_j * x_j) \\ &\Rightarrow \text{配送拠点での変動費総額} \\ &+ \sum (Cf_a * Zm_a) \\ &\Rightarrow \text{中型拠点 } a \text{ の固定費総額} \\ &+ \sum (Ct_j * Zs_j) \\ &\Rightarrow \text{配送拠点の固定費総額} \\ \text{制約式} \quad &\sum y_{jk} = d_k \quad ; \quad \sum y_{jk} = x_j \quad ; \\ &x_j \leq M * Zs_j \quad ; \quad Zs_j = 0 \text{ or } 1 \quad ; \\ &x_j \geq 0 \quad ; \quad y_{jk} \geq 0 \quad ; \quad Zm_a = 1 \quad ; \\ &a \in \{U \in A \mid a1, a2, a3, \dots\} \end{aligned}$$

ここに $P1 = (\text{相当りの輸送費} / \text{相当りのリレー費})$; $C = \text{コスト}$; w_a, x_{aj}, d_k および y_{jk} は取扱梱を示す。

このほか施設配置問題の解法にはラグランジュ乗数ベクトルを導入して、制約式を目的関数に組み込んだラグランジュ緩和問題や双対原理を利用して解く Benders の分割法などがある[4]。

計算の結果、図3に示すように物流拠点が決められるが、ここで得られる整数計画法の解からは解の近傍の情報を得ることができないので、パラメータが許容される範囲で変動させて、環境条件の変動に対するパラメータ・シミュレーションを行なっておくことが重要である。結果の一部を図4, 5および6に示す。

4. 物流のダイナミック・シミュレーション

実際には、システムの動的な“流れ”が重要である。数理計画法で求めた物流システムに対して、実際に需

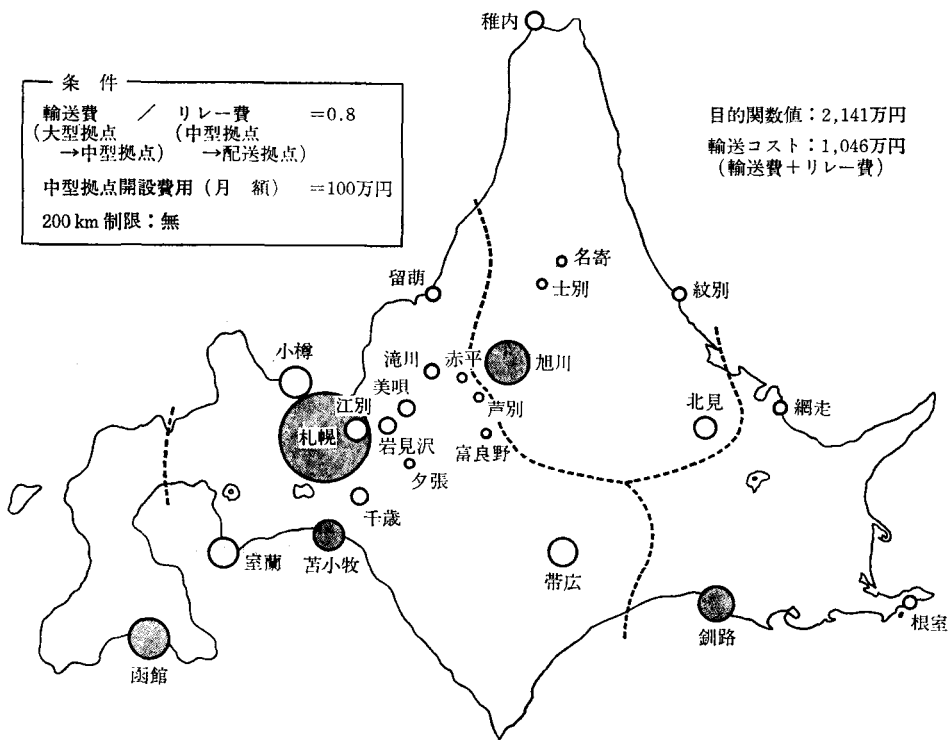


図 3 北海道物流拠点の決定

要と生産を起し実時間において輸送容器、在庫などの検証を行ないシステムのパトルネックや資源配分などを予測することができる。離散型モデルと連続型モデルとの混合モデルが扱えるシミュレーション言語 SLAM II [8], SIMAN (System Modeling Co., 1982) などが

あり、ネットワークモデルを記述することによって事象の表現が可能である。

5. ゾーニングとルーティング

配送関係ではルーティング [9], 配車計画 [10] などの研究がある。需要あるいは需要地環境の影響を最も大きく受けるので、情報制御の帯域も短く位置づけるべき

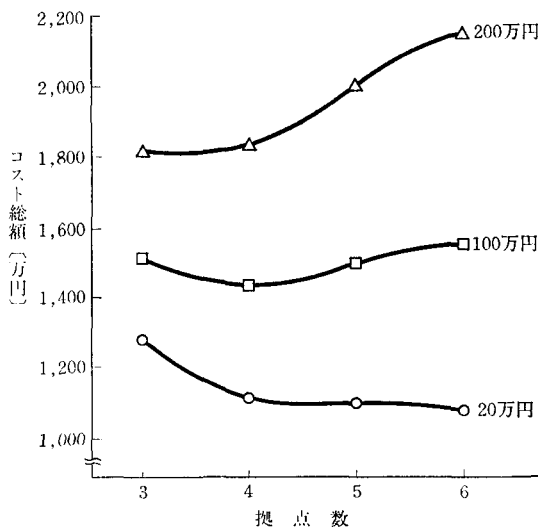


図 4 拠点数と物流総コストの関係

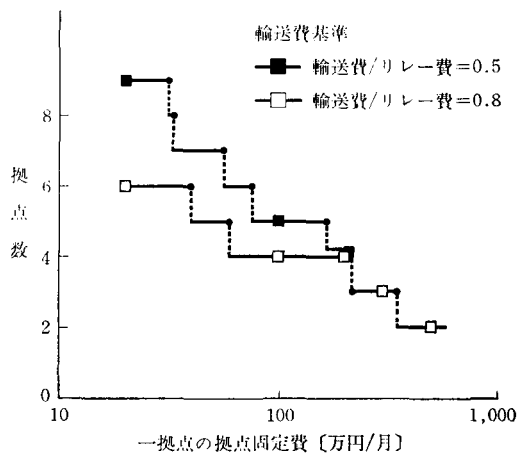


図 5 拠点あたりの固定費と拠点数の関係

で運用との関連が問題となる。数理的には巡回セールスマン問題やスケジューリング問題で基本的には分枝限定法[4]で解くが、効率的な解法アルゴリズムが必要となり、知識工学の応用が期待されている。

6. 数理計画と知識工学の融合

物流問題には、Well-structure, Well-defined な問題ばかりではなく経験的知識による Ill-structure, Ill-defined な問題が多いことと、効率的な求解が可能なることから、特に物流の運用にあたって知識工学の応用が目目されている[11, 12, 13, 14, 15].

数理計画と知識工学は共に論理解析木の枝刈りを数理的に行なうか、経験的に行なうかの差であるが、前者は最適化が保証されても、実モデルでは時に実時間内の求解が難しくなるのに対し、後者は効率的な求解が可能であるが、最適化の保証がない。また、一般の問題はORの手法と記号の推論が混在していることから両手法の融合が求められるゆえんがある。解の初期探索に数理計画法を使い、経験的に許容解を求める方法、経験的に初期探索を行ない、数理計画法で最適解を求める方法、あるいは同時に探索を進める方法などが考

表 1 評価関数組込みエキスパートシステムの評価

		評価関数組込みエキスパートシステム	整数計画法
条件 1	所要時間	7分	19分43秒
	現実のデータ 相対コスト(%)	103.5	100
条件 2	所要時間	13分	6時間5分6秒
	問題を複雑化 相対コスト(%)	106.7	100
条件 3	所要時間	7分	4分
	問題を単純化 相対コスト(%)	100.0	100

※検証環境 評価関数組込みエキスパートシステム：ワークステーションG-150A (1.8MIPS)

整数計画法：LINDO (パッケージソフト)
VAX 8600 (4.2MIPS)

※所要時間は、本アルゴリズムがスループット、数理計画法がCPU-TIMEによる

※相対コスト：理想的なコスト(製品と生産数量から単純に割り出されるコスト)との相対値

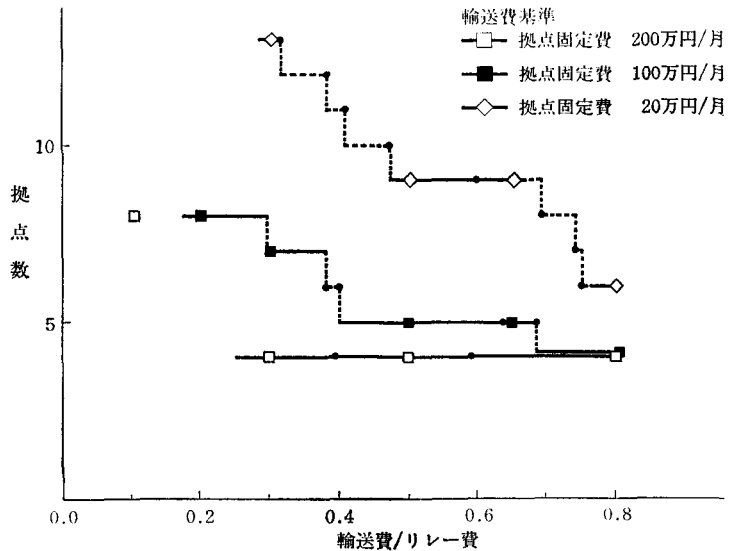


図 6 P1 と拠点数の関数

えられる。もともと論理プログラム (Prolog) は関係を基礎におき制約処理言語と見做せることから、シンプレックス法や代数消去法などの数値的制約が解けるような拡張がなされた制約論理プログラミングの研究が最近話題となっている[16]. われわれも経験的専門家知識 (あるいはOR手法を使った事前評価) による最適性への影響の大きい枝刈りと評価関数による数量的な探索とを交互に繰り返す方法を開発した[11]. 表1に示すように、明らかにAI探索の効率性と評価関数による数理的求解の特徴が現われている。

7. おわりに

研究開発や生産では技術のイノベーションをはかろうとしており、生産においても従来のオペレータの経験と勘による従来の工場運営から、コンピュータとエンジニアによる知的無人工場をめざし、その質的変革と生産性の向上をめざしている。一方、物流インフラストラクチャも海運、道路網、輸送容器などの輸送手段、情報通信などが整備され、次世代の物流システムを構築する環境や条件が整ってきた。ここに、数理科学や工学の手法あるいは人工知能を含む情報科学などの手法の統合・融合を基本において、低コストでしかも需要変動に柔軟に対応できるグローバルな意味での最

適化在庫生産・物流システムの構築は、まさしく企業活動を支える基盤技術とならなければならない。

参 考 文 献

[1] 圓川隆夫, 「業種間におけるトータルの生産システムに関する研究」, 中小企業研究所(1986).
 [2] 黒田 充, 田部 勉, 圓川隆夫, 中根基一郎著, 「生産管理」朝倉書店(1989).
 [3] 美濃順亮, 日経コンピュータ, Vol. 10, No. 12 (1987), pp. 146.
 [4] 今野 浩, 鈴木久敏編「整数計画法と組合せ最適化」日科技連出版社(1982).
 [5] N. Karmarkar, : A New Polynomial-Time Algorithm for Linear Programming. *Combinatorica*, Vol. 4(1984), 373~395.
 [6] カーマーカー, ナレンドラ クリシュナ (AT&T), 特公昭62-502580.
 [7] 小杉雅敬: 物流施設最適立地問題に関する研究, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 28, No. 8(1983), 379.
 [8] A. Alan Pritsker, 「Introduction to Simulation and SLAM II」 Systems Publishing Corporation(1986).
 [9] 鈴木久敏, 辻 真人, 平林隆一: 水売り行商人問

題. *J. of the Operations Research Society of Japan*, Vol. 30, No. 4(1987), 472~491.
 [10] 玉木将二郎: コンピュータによる配車計画, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 19, No. 9 (1974), 16~24.
 [11] 竹中 孝, 関根史磨, 江原裕幸, 本田成吾, 美濃順亮: 専門家モデルに基づく生産スケジューリング・システム, 人工知能学会誌, Vol. 5, No. 2(1990) 掲載予定.
 [12] 天満 正, 明石吉三: 知識工学技術を応用した貨物配置決定方式の提案, 電学誌C, Vol. 107, No. 2 (1987), 165~172.
 [13] 福村ほか: 鋼材出荷計画エキスパートシステムと分枝限定法, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 33, No. 1(1988), 33~39.
 [14] 武藤 猛: E Sで生産スケジューリング仕掛かり品を大幅削減へ, 日経メカニカル 1988. 9. 5, 70~76.
 [15] 福森ほか: 列車ダイヤ作成へのA I手法の応用, システムと制御, Vol. 30, No. 5(1986), 274~281.
 [16] 横井俊夫, 相場 亮: 制約ロジック・プログラミング-知識処理への新しいパラダイム-, 情報処理, Vol. 30, No. 1(1989), 29~38.

INTEGRATED SOFTWARE ENGINEERING!

私たちは、時代の変化を的確にとらえる鋭敏な感性と理想を追求する探求心をもちながら、トータルシステムのオーガナイザーとして様々な産業のユーザーニーズにお応えしています

新卒者および既卒者募集!

職務内容	大卒初任給	問合せ先
システムエンジニア 営業 他	165,000円 (平成元年度実績)	本社総務部 採用担当 045(474)5000

日揮情報システム株式会社 本社:横浜市港北区新横浜3-6-12