

物流におけるエキスパートシステムと遺伝アルゴリズムの適用

Application of Artificial Intelligence and Genetic Algorithm in Physical Distribution

岩屋 岳彦⁽¹⁾ 瀬賀 利明⁽¹⁾ 大塚 伸一⁽²⁾ 国本 衛⁽³⁾
 Takehiko IWAYA Toshiaki SEGA Shinichi OHTSUKA Mamoru KUNIMOTO

抄 録

物流の世界においてAI(Artificial Intelligence;エキスパートシステム),GA(Genetic Algorithm;遺伝アルゴリズム)といった技術を適用することが,ロジスティクスの観点からも非常に有効であり,その成果も見えるものとなってきている。入出庫管理にAIを適用した事例として君津製鐵所薄板製品倉庫システム,広域物流にGAを適用したプロトタイプング事例として,需要家向け配車計画システムの二つの事例について述べた。

Abstract

It is very effective, even from a view point of logistics, to apply technologies such as artificial intelligence system (AI, the expert system) and genetic algorithm (GA) to the field of physical distribution, which have produced excellent results these days. In this report, two cases of application are described, i.e., the storing system for steel sheets in Kimitsu Works of Nippon Steel in which AI is applied for a stock management, and the dispatching planning system in a certain company in which GA is applied for a wide area distribution.

1. はじめに

製造業,運送業において物流にかかわる業務(搬入出,保管,配送)は,製造ラインにおける業務と比較して,FA(Factory Automation)化,CIM(Computer Integrated Manufacturing)化がなされていない場合が多く,そのコストは増加の一途をたどっており,これらを圧縮することが,ロジスティクスの面から急務となっている。

例えばエキスパートシステム(AI:Artificial Intelligence)を用いる例として,入出庫において最適な搬送順をルールベースにて決定し,搬送機器を自動運転化することで,搬送時間の短縮による稼働率向上,運転要員の削減を行うことができ,大幅なコスト圧縮を行うことが可能である。また,遺伝アルゴリズム(GA:Genetic Algorithm)を用いることで,ナリッジエンジニアの力を借りることなくシステムの構築が可能で,かつ短時間で最適に近い解を得ることができる。

本論文では実際の適用事例に基づき,導入の考え方,その成果について述べる。

2. 君津製鐵所薄板製品倉庫システム

2.1 設備概要

君津製鐵所では物流基盤整備の一貫として,物流整理化,輸送効率向上を図るため薄板製品コイル専用の倉庫を新設した。

図1に設備の全体構成と主要な諸元,写真1にコイルの保管状況等を示す。

本倉庫は平屋建て3棟倉庫であり,2段積みで運用し,各棟ごとに自動クレーンが1基設置されている。また,棟間でのコイルの搬送と,熱間圧延工場からのコイルの入庫のために,自動棟間台車が1基設置されている。

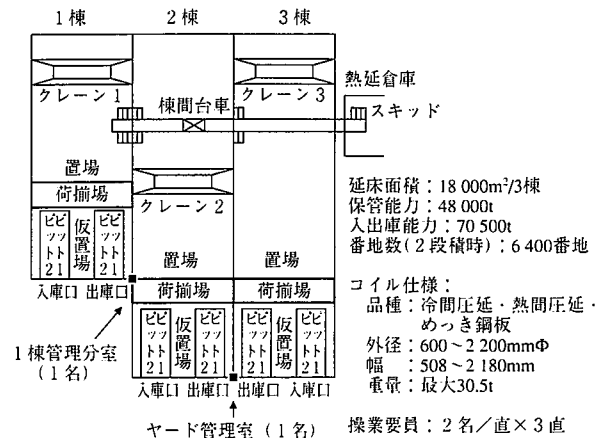


図1 設備全体構成

⁽¹⁾ エレクトロニクス・情報通信事業部 産業システム開発部 掛長

⁽²⁾ エレクトロニクス・情報通信事業部 産業システム開発部

⁽³⁾ エレクトロニクス・情報通信事業部 産業システム開発部 部長代理

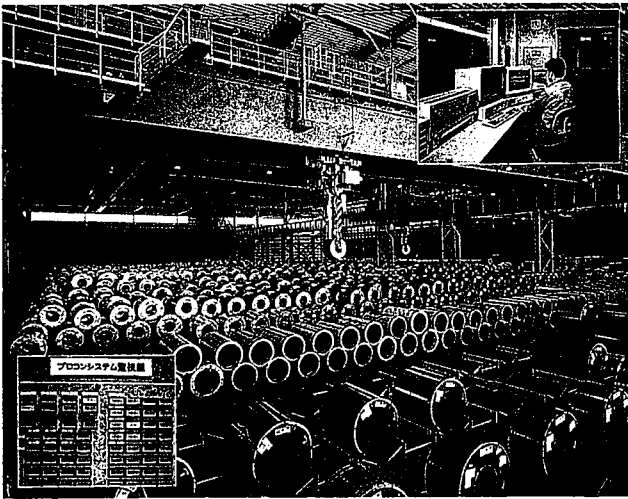


写真1 コイルの保管状態

倉庫内は置場、荷揃場、仮置場の3種類に区分され、それぞれ以下の用途に利用される。

置場；定期的な保管に使用し、2段積みで運用し、ある範囲のサイズレンジ(=幅、外径)ごとに保管エリアを区分する。

荷揃場；搬送車両が入棟する前に、出庫予定のコイルを事前に荷揃えするために用い、1段積みで運用する。

仮置場；コイルの入庫時の在籍番地もしくは、出庫時の積載番地が不明で、自動運転が不可能なとき(=構外車両での入出庫時に、半自動運転のための中間的な置場として用い、1段積みで運用する。

2.2 システムの導入目的と考え方

従来、製品倉庫等の付帯設備は、生産の中心となる製造ラインと比較しFA化(プロセスコンピュータの導入)が遅れ、人海戦術に近い状況で操業が続けられてきた。

近年、作業環境に対する要望の高度化等、一般的な社会情勢から要員確保が困難になりつつあり、新設倉庫稼働に伴う要員の増加を最小限に抑えることが必要であった。

本倉庫は、このような状況を踏まえ、更に作業効率の総合的な向上を図るために、一部の例外的な作業形態を除いて全自動で操業を行うことを最優先の目的とし、上位から下位までの機能分担を行った。

各機能階層ごとの機能分担の考え方を表1に示す。

2.3 AI(エキスパートシステム)の導入の考え方

倉庫操業は以下の特徴をもつ。

- (1)交通事情、天候条件等により、入出庫作業そのものが制約を受ける。

表1 機能分担の考え方

階層	分担	詳細機能
ビジネス コンピュータ	輸送計画立案	・輸送ロット編成 ・車両運行計画作成 ・置場計画作成
プロセス コンピュータ	倉庫内作業スケジュール最適化 (AI)	・自動機器運行制御 ・コイルトラッキング ・設備/操業管理
電気設備	機器動作最適化	・自動運転

- (2)輸送計画はあるものの、緊急作業が多発するため、作業スケジュールの早期確定が困難である。
- (3)作業方案そのものが不確定要素を含み、方案変更発生ひん度が大きい。

このように倉庫操業では作業スケジュール、方案がリジッドに決定できないという難しさをもっている。そのために、システムをプロセスコンピュータ(以下、プロコンと記す)上に実現する際に、通常の製造ラインの場合に適用するような、全ての機能を手続き型の言語を用いて記述する手法を用いると、稼働後の運用面における柔軟性が損なわれる恐れがある。またエンジニアリングの面からは、機能仕様がいつまでも確定できず、全体工程を遅延させる要因の一つとなる。

そこで、システムの機能を大きく二つに分け、不確定な要素を含み、メンテナンスの頻度が高い作業スケジュール、方案に関する範囲を一つの機能とし、AIを適用することとした。

保守性の良いAIを適用することで、運用面における柔軟性を確保すると共に、システム稼働後も継続的にメンテナンスを行い、より良いシステムとして育てていくことが可能である。また、機能設計面においては、リジッドな機能とあいまいな機能を分離して進めることができ、エンジニアリング上も効率的である。

2.4 システムの全体機能

ビジネスコンピュータ(以下、ビジコンと記す)にて計画された車両運行計画に基づき、本倉庫に対する入出庫作業が行われる。

基本的な考え方は、ビジコンから指示された順位に従い、プロコンでは作業効率のみを考慮して入出庫作業指示を搬送指示へと展開し、下位機器へ設定すればよい。しかし、前節で述べたように、計画と実際の作業順位(入出庫車両の到着順)が大きく異なるために、作業が発生したタイミングで、プロコン側でどの作業を最も優先して行うべきかを判断しなければならない。

更に、以下の点も考慮することが必要である。

- (1)2段積みの置場であるため、搬送対象コイルが2段目に在籍しているか、又は、1段目に在籍のときは、上段にコイルが置かれていないか？
- (2)搬送対象コイルが、車両が入棟した棟と異なる棟に在籍しているとき、どのタイミングで、自動棟間台車により該当棟へ搬送するか？
- (3)一つの棟内で、入庫と出庫を並行して行うことができないか？
- (4)出庫が事前に指示されているコイルを、どのタイミングで荷揃場に搬送するか？
- (5)山繰り等の付帯作業をどのタイミングで行うか？

以上の点を考慮し、最適な作業ロットを決定するルールベースと、作業ロットを決定した後の、ロット内での最適な搬送順位を決定するルールベースの二つに機能分割することとした。

特に、最適搬送順位決定ルールベースは、コイルの搬送が完了したタイミングで、次の搬送コイルを決定しなければならず(機械設備仕様より6秒以内が目標)、従来のAIにはない極めて高いリアルタイム性が要求される。また、最適な搬送先、搬送コイルを短時間に決定するために、置場マップもプロコン側に取込み、リレーショナルデータベース化しリアルタイムな管理を行うことで、トラッキングミスを皆無とし、ルールベースを含めた総合的な性能向上を実現した。

図2に上位、下位を含めた機能フローを示す。

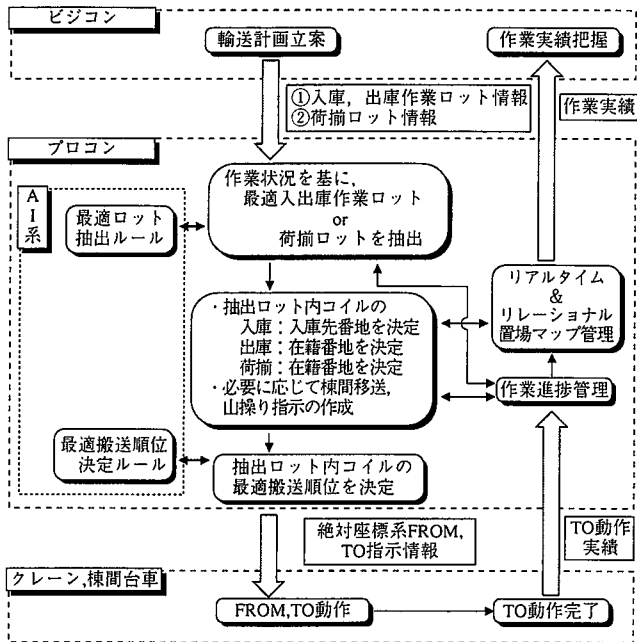


図2 機能フロー

2.5 システム構成

システムに要求される要件として以下の点が挙げられる。

- (1) AI処理とデータ編集等の汎用処理を密結合して処理可能なこと
- (2) リアルタイム、マルチタスク制御機能をOSレベルで有していること
- (3) 操作支援の核となるに十分な信頼性を有していること
- (4) コストパフォーマンスに優れていること

これらの点を考慮し、ハードウェアとして、新日本製鐵エレクトロニクス・情報通信事業部製のデスクトップ型プロコンMC20を選定した。

図3にハードウェア構成図、図4にソフトウェア構成図を示す。

2.6 成果

本システムは、1993年6月よりオンライン稼働を開始し、当初計画通りの成果を発揮している。

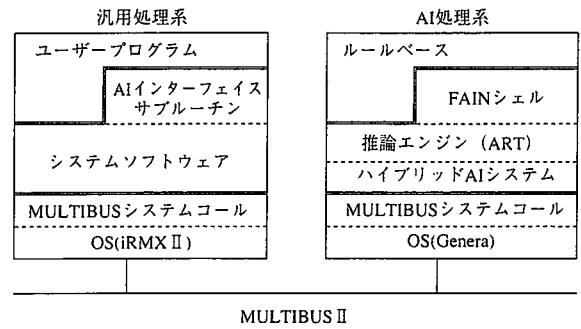


図4 ソフトウェア構成

(1) 要員合理化

従来は1クレーン当たり3名のオペレータが必要であったが、一部の例外的な作業を除き、全自動運転を実現することで、3クレーン当たり2名のオペレータで操業が可能である。

(2) 作業時間の短縮による車両待ち時間、滞船時間の減少

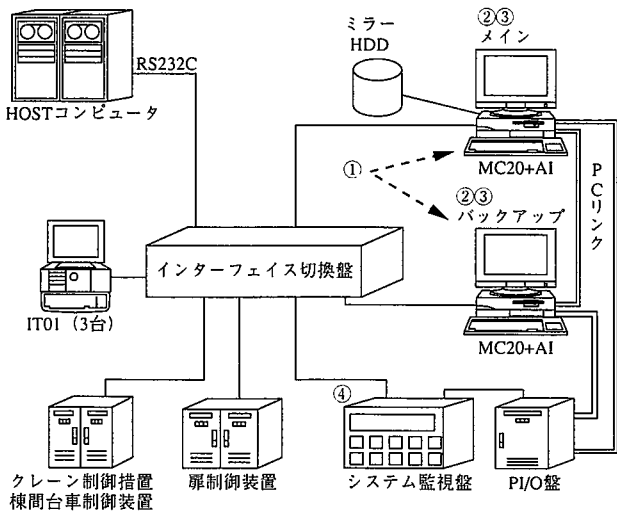
ルールベースにて最適な作業ロットの選択、最適な搬送順位の決定をリアルタイムに行うことで、個人差に起因する所要時間のばらつき(作業選択に要する時間・作業順による作業効率の差)を解消すると共に、自動運転との相乗効果と相まって、従来と比較し、約半分の所要時間で作業が可能である。これにより、車両の待ち時間短縮による輸送費削減、滞船時間減少による滞船料削減を達成した。

(3) 運用面における柔軟性の実現

ルールベースのメンテナンスは頻繁に発生しているが、高い保守性と相まって、システムが陳腐化することなく、当初の目標は定性的ではあるが達成した。

3. 配車計画システム

物流管理のなかで、荷物を運搬車両に割り付ける配車計画の最適化は、配送の時間指定等の顧客要求や車両制約、交通事情など考慮すべき制約条件が多く、従来の最適化手法で実現するのは難しいテーマである。その結果、配車業務は人手に頼った運用をせざるを得ず、荷物の数や車両台数が多くなり問題が複雑になれば、配車の



汎用系:

CPU	: 80486
主メモリ	: 16MB
HDD	: 240MB
HDDはミラー化	

AI系:

CPU	: IVORY
主メモリ	: 40MB
HDD	: 380,760MB
ES構築支援ツール (FAIN-SHELL)	

- ① 同一ハードウェア構成の計算機2式による相互バックアップ (=構成制御)を実現し、システムの信頼性向上を達成。
- ② 同一筐体内に汎用系CPUとAI系CPUを実装し、高速バスでデータリンクさせることで、高速リアルタイムの推論 (=ハイブリッドAI)を実現。
- ③ 表入力形式の日本語エディタにより、ルールベースの容易なメンテナンス環境を提供。
- ④ システムの稼働状況ガイダンスに加え、立上げ、立下げ、CPUの切替をワンタッチ・オペレーションで可能とするためのシステム監視盤の導入。

図3 ハードウェア構成

効率化にはどうしても限界があり、また配車計画の立案や修正に手間と時間を要してしまう。

新日本製鐵では、さまざまな最適化問題に対しGAを適用してきた実績を持つ(図5参照)が、今回、物流分野への適用事例として、配車計画システムのプロトタイプング結果を紹介する。

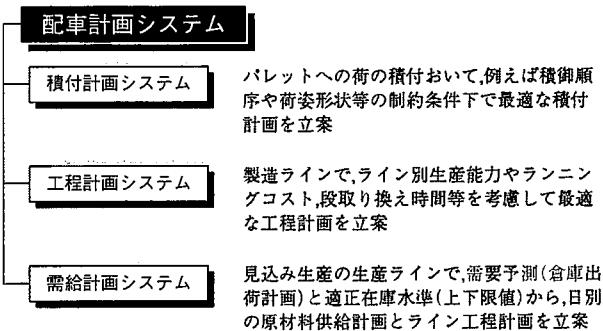


図5 ロジスティクス最適化へのGA適用例

3.1 遺伝的アルゴリズム(GA)

GAは、生物進化の原理に着想を得たアルゴリズムであり、従来の手法では解決が困難な様々な最適化問題や規則学習問題に対し、実用上の最適解を速やかに得ることができる有効な手法として知られる。GAは米国J.H.Hollandにより導入されて以来20年以上の歴史を持つが、近年のハードウェア処理能力の飛躍的な進歩の恩恵を受けて大量の繰返し演算を現実的な時間内で処理できるようになった結果、工学的応用に向けての関心が高まりつつある。GAの処理概要は以下の通りである(図6参照)。

- (1)計算機内に、遺伝子を持った仮想的な生物の集団(第1世代)を設定する。ここで遺伝子は問題の解を表現する。
- (2)この生物の集団に対し、あらかじめ定められた環境(制約条件)に適応する個体の子孫を残す確率が高くなるような世代交代(交叉や突然変異)シミュレーションを行い、個体及び生物集団を順次進化させる。
- (3)進化を繰り返した結果、最終的に非常に環境(制約条件)に適した個体(準最適解を表す遺伝子)が発生する。

また最適化アルゴリズムとしてGAは、高速に準最適解を求められるほかに、次のような特徴を持つ。

- (1)他の最適化手法と比べて探索範囲が広く局所解にとらわれにくい。
- (2)不連続な評価関数の探索にも適用可能である。
- (3)確率と選択により解を発生させるため、例えばプログラムロジックやAIのルールベースに相当する部分が不要となり、実装後のメンテナンスが容易である。
- (4)他の探索手法と比べ局所探索が苦手なため、他の局所探索手法と組み合わせて実装される場合がある。

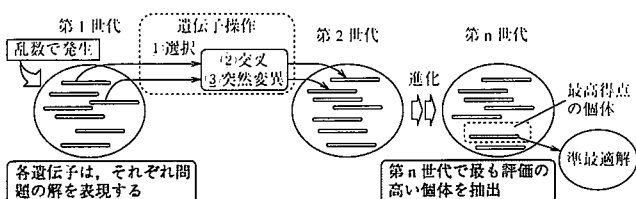


図6 GAの原理

3.2 配車計画システムの導入効果

GAを適用した配車計画システムの導入効果を以下に整理する。

- (1)物流コストの削減…従来の人手に頼った運用に比べ、より広域を対象にした配車計画を立案でき(図7参照)、例えばエリア内の局所最適から全体最適を指向した物流が可能となる。その結果、運送効率(積載率や回転率、空送距離など)の向上が期待でき、物流コストの削減につなげられる。

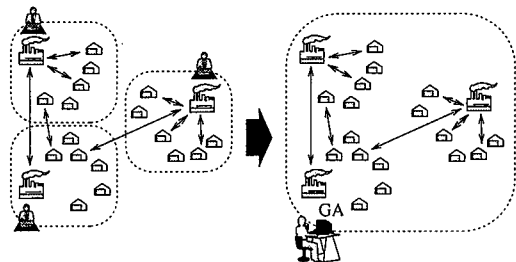


図7 最適化の対象範囲の拡大

- (2)物流サービスレベルの向上…配車計画の立案時間を短縮でき、リードタイムの短縮や注文受付時間の延長が可能となる。またシステム化により物流データの一元管理化が図れ、突発注文や問合せへの対応が迅速化できる。その結果、物流のサービスレベルが向上して需要の創造、拡大が期待できる。

3.3 プロトタイプングの前提条件

配車計画システムの機能評価のため、ある広域物流を手掛ける運送会社をターゲットにプロトタイプングを実施した。運送会社の物流形態は、以下の通りである。

- (1)配送は基本的に工場と物流センター/大口顧客間で荷物を運ぶピストン形式である。工場間や物流センター間の配送も不定期に発生する。
- (2)配送は荷物を積みその日の中に客先に届ける朝積みと、夕方荷物を積み翌朝に届ける夕積みがある。
- (3)1日の注文数(荷物数)は、数百件程度である。
- (4)物流センター/大口顧客は約二百、広域に点在する。それぞれに荷物の受入時間と車両の乗入制限(庭先条件)がある。
- (5)車両は自社で保有するトラック、トラクタ、トレーラ約百台である。不足分は備車で補う。従って備車コストの削減が収益向上に直結する。

また、配車計画の立案制約は以下の通りである。

- (1)車両の積載率を極力向上させる。
- (2)積み/卸待ちが少なくなる計画とし車両回転率を向上させる。
- (3)帰り便に荷物を割り付け空走距離を削減させる。
- (4)相積み(荷物の目的地が隣接する場合やルート途上の場合に1台の車両でまとめて配送する)等配送の効率化を図る。
- (5)運転手負荷を平準化する。

プロトタイプングでは、上記の制約条件を満足しつつ自社車両の稼働率を上げることで備車台数を減らし、運送会社の対外支出を削減させることを目標とした。

3.4 システム構成

プロトタイプシステムは、マスタ管理、注文入力、稼働車両入力、計画立案、運行管理、帳票出力の六つの機能で構成した(図8参照)。またハードウェア/ソフトウェア構成はそれぞれ図9、10の通りである。システムはパソコンによるC/S構成をとり、データ

ベース管理をサーバ側で行い、配車計画の立案処理(GAの演算処理)をクライアント側で行う分散処理構成として、配車計画立案の高速化を図っている。

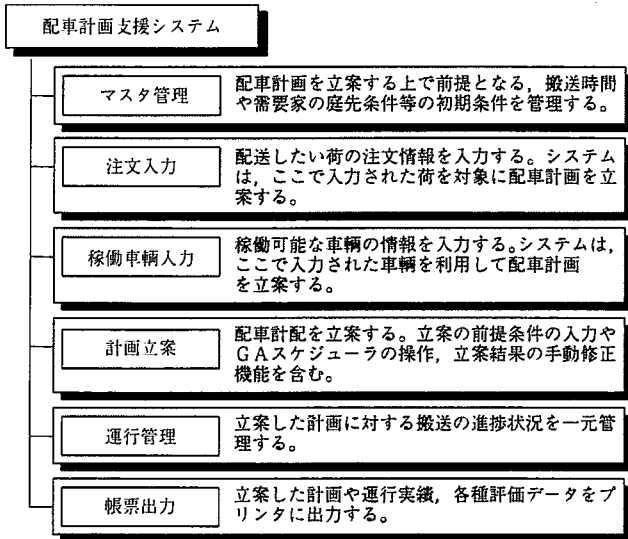


図 8 機能構成図

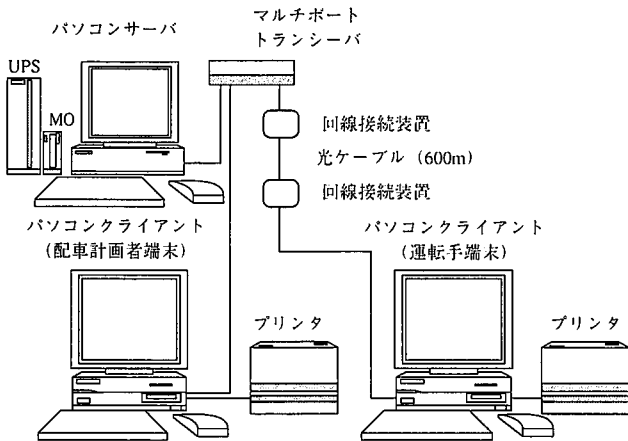


図 9 ハードウェア構成

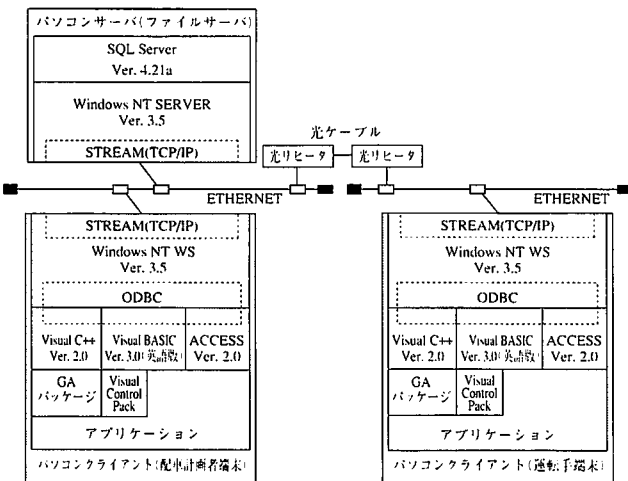


図 10 ソフトウェア構成

3.5 GAの実装

GAの実装にあたり、GAの局所探索の欠点を補うため立案のアルゴリズム中に局所探索手法(ヒルクライム)を組み入れ、更に第1世代に遺伝子操作(特定の評価項目に強い遺伝子をつくる等)を施した個体を加えることで初期収束を速める等の工夫をして、探索時間の短縮を図った。また実機化後は、例えば車両回転率を優先したり、積載率を優先したり、運転者の負荷平準化を優先するなど状況に応じた立案戦略の変更が想定されるため、制約条件の重付けがダイナミックに変更できる実装とした。

3.6 システムの検証

システム評価の結果、GAを適用した特徴として、与えられた全ての制約条件を完全に満足できない(解が存在しない)場合でも、制約条件の重付けに従って現実的な準最適解を生成(例えば配送が勤務時間内に収まらない場合に解なしとするのではなく、例えば運転手の残業を当て込んだ計画を立案する等)できるため、実機化後はかなり柔軟な運用が期待できる。また今回のプロトタイプでは、運送会社のベテラン配車担当者の立案計画と比較して、約1/24(6時間→15分)の時間で自社車両の積載率、回転率等の稼働率が上回る配車計画結果を得ることができ、本件においては、備車コストを約1/2に削減できる日処を得た(図11参照)。以上の成果は、運送会社等の顧客から高く評価され、現在、実機化に向けてシステムの作り込みを進めているところである。

4. おわりに

AI, GAといった技術を物流へ適用した事例を2件紹介した。AIの適用事例に関しては既に稼働し、当初計画通りの成果を発揮し、エンドユーザーからの高い評価を得ている。また、GAに関してはプロトタイプにおける技術評価は完了し、実案件への適用に際して問題はないと判断している。AI, GAそれぞれ特徴を持った技術であり、適用範囲は物流といった限られた範囲に限定されるものではないが、適用に際してその特徴を引き出すことができるかどうかの事前検討は必要不可欠である。今後も、これらの技術の適用範囲の拡大を図り、積極的に活用していくことで、ソリューションベンダーとして業務改善、経営改善の一翼を担っていきたい。

参考文献

- 1) 富浦洋：'93日本の主要技術(カントリーレポート)。I I S I 技術委員会, 1994-5
- 2) 久富本行治：薄板岸壁自動倉庫の新設。日本鉄鋼協会共同研究会第18回物流部会, 1993-11
- 3) 山下英隆：君津薄板製品倉庫計算機制御システムの開発。日本鉄鋼協会共同研究会第109回制御技術部会, 1993-11
- 4) 大塚伸一：君津薄板製品倉庫計算機制御システムの開発。日本鉄鋼協会制御技術部会第2回プロコン分科会, 1993-5
- 5) 浜口和朗, 佐藤健一 (ほか)：The Hybridization of a Genetic Algorithm with the Rule-based Reasoning for Production Planning. IEEE, 1995-10
- 6) 北野宏明：遺伝アルゴリズム。産業図書, 1993
- 7) 北野宏明：遺伝アルゴリズム2。産業図書, 1995
- 8) 安居院猛, 長尾智晴：ジェネティックアルゴリズム。昭見堂, 1993

注：本論文中に記載されているハードウェア及びソフトウェアは、各社の商標又は登録商標である。

結果表示画面 (詳細)

立案対象日 1995/10/10 (日) 対象製品 [] シェア調整 OFF 運送会社指定 OFF 戦略 回転率優先戦略 1
 立案条件 天候 (午前) 晴 (午後) 晴 回転率平均: 89.3% 総運賃 円 稼働車両台数 [] 台 走行距離 [] km
 積載率 総平均: 1.65 回/台

回線	積み待ち時間	積時間	往路搬送時間	卸し待ち時間	卸心時間	復路搬送時間
A社	N9971 47t	N2540	車礼 宏	0-09304-5B-1111 /市内; 39.79t	0-08304-5B-0005 /四国; 34.51t	
B社	N6800 57t	N1390	佐藤 修一	0-11101-5A-H028 /長野; 北陸; 95.91t	0-11101-5B-C026 /長野; 北陸; 2.42t	
B社	K1182 57t	K0401	谷沢 滋	0-02204-5C-0439 /名古屋; 47.04t		
B社	K1519 57t	K0257	野尻 尚快	0-50801-5B-4955 /中国; 51.98t		
B社	K1573 57t	K1240	上野 善信	0-11139-5B-H001 /名古屋; 46.95t		
B社	K2473 57t	K0759	蟹澤 優	0-50801-5A-4935 /四国; 39.24t		
B社	K9656 57t	K0481	塩瀬 敦司	0-51001-5A-9849 /長野; 北陸; 4.51t		
C社	N9486 36t	N1304	平川 泰	0-08309-5B-0002 /名古屋; 96.98t		
D社	O3844 48t	O4874	山本 武司	0-11101-5B-H004 /市内; 42.92t		
D社	O5972 48t	O4888	宇田川 雄司	0-11101-5B-H013 /長野; 北陸; 99.92t		
D社	O6609 48t	O4573	堀口 真一郎			
D社	O8313 48t	O4301	谷垣 武史			

積み待ち時間 積時間 往路搬送時間 卸し待ち時間 卸心時間 復路搬送時間

戻る

図 11 配車システムの計画立案例