2006－MBL－36（29）
2006－UBI－10（29）
2006／2／16

RFIDを用いたホロニック生産管理システムの制御方式

上岡恵子[†a)]　　上岡英史[††]　　山田茂樹[††]

†　総合研究大学院大学，††　国立情報学研究所
a)　E-mail: keiko_kamioka@grad.nii.ac.jp

あらまし　従来の生産情報システムでは，集中一元管理方式により，多品種少量生産の計画変更に不向きであった．本稿では，部品に取り付けられたRFIDの情報により，部品自体による能動的，自律的生産制御を用いることにより生産コストを下げるホロニック生産管理システムの管理･制御方式を提案する．RFID には，加工される部品がどのような工程を経て製品になっていくかを示す，大まかな工程計画（人生計画に相当）が書き込まれている．生産変更が発生すると，それに見合うように経過工程（過去の人生経験）を元に将来の工程（未来の人生設計）を書き換え，生産情報システム全体としては軽微な変更で多品種少量生産の計画変更が実現される．

キーワード　生産管理システム，RFID，ホロニック生産，工程制御方式，多品種少量生産

A Control Scheme of an RFID-based Holonic Production Management System

Keiko　KAMIOKA[†a)], Eiji KAMIOKA[††], and Shigeki　YAMADA[††]

Abstract　This paper presents an RFID-based holonic production management system that enables each component of the products with an RFID tag to be controlled and supplied autonomously into assembly facilities by the control information stored in the RFID tag called as life-time information such as assembly facility and assembly status information. When any change in the production plan is found to be necessary, the life-time information in the relevant components' RFID tags is immediately modified by the holonic production management system. As a result, the components can be flexibly controlled to adapt to the modified assembly process. Basic control mechanism of the RFID-based holonic production management system is described, using a simple example. The holonic production management system is suitable for high-mix low-volume productions.

1．まえがき

生産管理システムは，生産活動の計画を策定し，その計画に沿って生産活動を管理するシステムである．求められる品質を確保しながら，納期どおり，効率よく生産活動を遂行するために，生産基準情報から受注，生産計画，所要量計算，手配指示，スケジュール，実績進捗，運搬，品質，出荷，在庫，原価までの業務のサポートを行う．

このような生産管理システムは，大きく分けて，1)人間が行う業務プロセスの仕組みと2)情報を処理する生産情報システムから構成される（図1）．

本研究では，ホロンの概念（自律した構成要素による分散型意思決定）に基づく生産管理システムの制御方式をテーマとする．具体的には，受注情報が変わった時に，従来のように中央で一元管理される生産計画立案機能で，全体を見渡した生産計画の再計画を行うのではなく，変更された受注情報と部品がもつローカルな情報（Lifetime Information）から，部品が能動的，自律的に製造にたずさわり，効率的に生産する生産管理システムの制御方式を提案する．

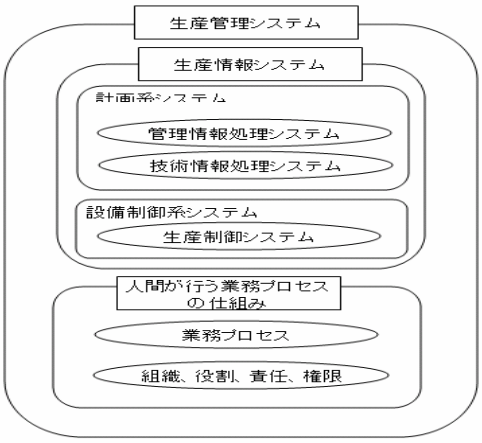

図1　生産管理システムの構成

2．従来の生産情報システムにおける課題

既存の生産管理システムは，生産に関わる情報を一元管理し，システム全体の最適化を目指して，全体を見回した生産計画と厳密なスケジューリングを行うものがほとんどである[11]．また，各工作機械や搬送機器の制御装置，セルコントローラ，ファクトリコンピュータなどが階層的に接続され，トップダウン的に制御が行われている．

このような制御形態は，生産対象の種類や生産量の変動が少なく，定常的な生産を行う場合には生産効率が良く有効であるが，多品種少量生産，需要変動に対して次のような問題を抱えている．

① 需要変動に対する生産計画の変更に労力や時間がかかる．特に，受注変更に伴う生産計画の変更が発生した場合，下位の階層である加工工程や生産設備のスケジューリングまで影響し，その調整に時間･手間がかかる．

② 生産設備が故障した場合の再スケジューリングの労力や時間がかかる．

これらの課題に対して，再スケジューリングのコスト削減を行うために，本制御方式を提案する．

3．基本アーキテクチャ

(1)基本概念

図2に本研究で提案する生産管理システムの基本アーキテクチャを示す．本研究は，ホロニック生産管理の基本的な考え方をベースとして，部品に取り付けられた RFID の情報により，部品自体による能動的，自律的生産制御を用いることで生産コストを下げることを目的とする．

このために，部品1つ1つに RFID タグを付与し，RFID タグには，UID，部品番号，加工される工程の順番，生産設備の加工条件，納期などの情報を格納する．さらに，RFID タグを，ネットワーク内のパケットととらえて，パケット自身が持つ宛先アドレスに従って次段ルータへ移動するように，RFID タグが自律的能動的に加工を行う生産設備に部品を移動させる．また，工程作業の開始は RFID タグが自律的，能動的に製造を開始させ，生産設備を制御するコンピュータプログラムにより，その工程作業で必要な部品が揃った時に生産設備の加工を発動する．

(2)構成要素

本システムの構成要素は，工程，部品，搬送具，生産管理サーバ，倉庫である．

工程は，生産設備，キュー，生産設備を制御するコンピュータ，その上で動作するソフトウェアで構成される．部品は，部品1つ1つに RFID タグが付与されている．搬送具はベルトコンベア等とそれを制御するコンピュータ，その上で稼働するソフトウェアで構成される．倉庫は，棚，棚を制御するコンピュータとその上で稼働するソフトウェアで構成される．

① 工程

対象とする工程は，作業が行われる順番に生産設

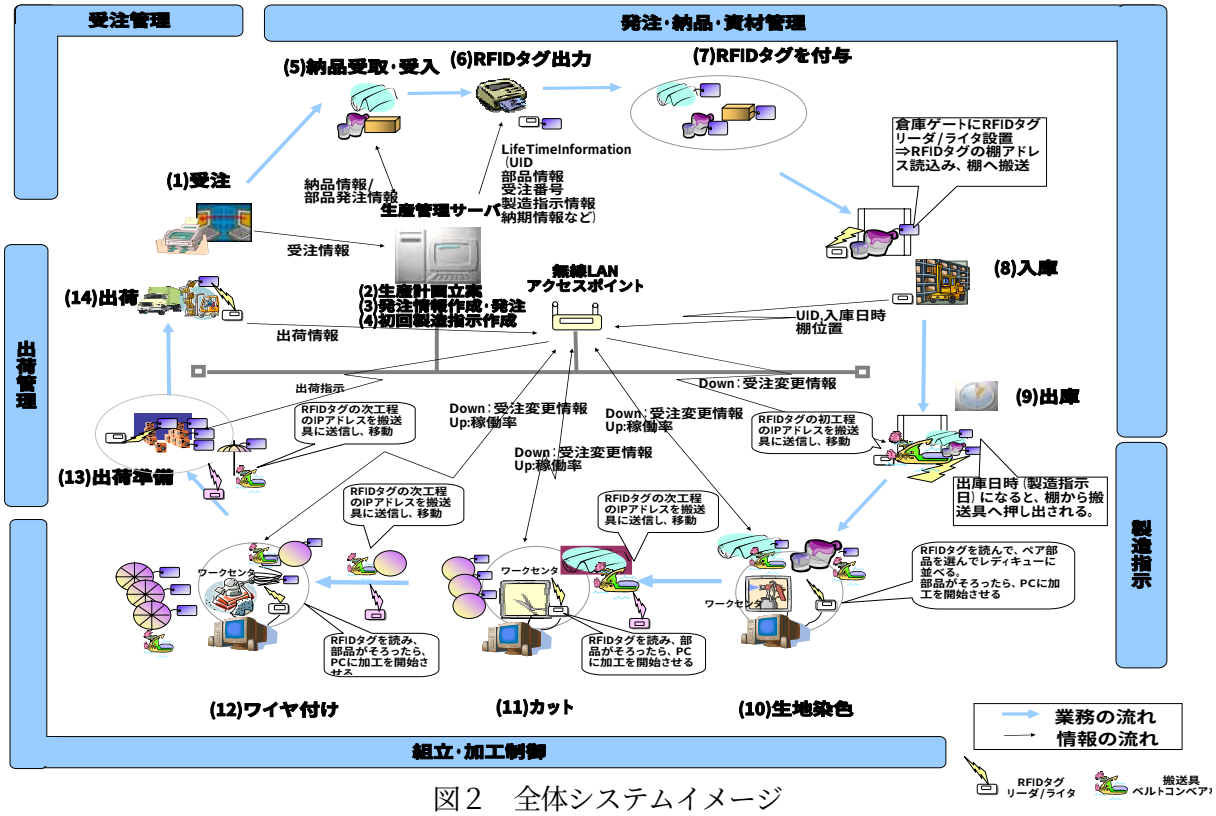

図２　全体システムイメージ

備が配置されるフローショップ型で，単純工程（合流・分岐工程がない作業），合流工程，分岐工程がある（図4，図5，図6）．

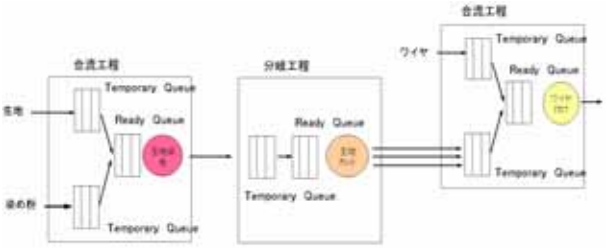

図3　工程

各部品は非同期で動作するために，工程間の同期をとるために各工程はキューを持つ．キューには，運搬後の部品置き場であるテンポラリキュー（Temporary queue）と，生産開始の順番待ちであるレディキュー（Ready queue）の2種類がある．生産設備は，コンピュータに接続され，作業条件設定，作業開始・終了，作業ステータスや実績が管理される．

単純工程，分岐工程の場合には，搬送具から降ろされた部品はテンポラリキューに置かれ，処理順番にソートされてレディキューに移動し，生産設備での処理開始を誘導する．

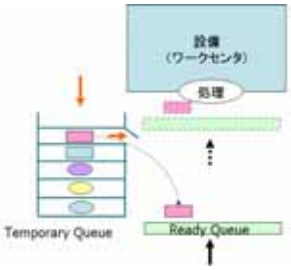

図4　単純工程，分岐工程の仕組み

合流工程の場合では，搬送具から降ろされた部品はテンポラリキューに置かれ，合流する部品のペアを見つけた後レディキューに作業開始順に置かれる．また，分岐工程では，1つ以上の部品が工程作業終了後に複数の成果物に分かれて出力される．

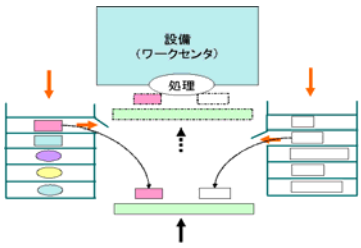

図5　合流工程の仕組み

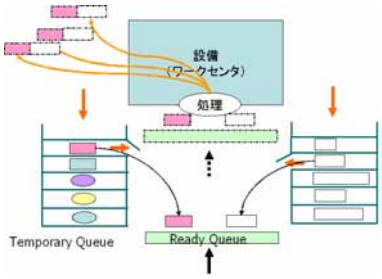

図6　分岐工程の仕組み

② 部品

部品は，RFID タグにより1つ1つ単体で管理され，部品の固体識別子と加工される部品がどのような工程を経て製品になっていくかを示す LifeTimeInformation を保有する．生産計画変更が発生すると，それに見合うように経過工程を元に将来の工程を書き換える．また，合流工程を経る部品については，合流する部品情報を，また生産設備での加工条件も書き込まれている．

図7は本研究で対象とする工程を示しているが，合流工程作業後は，1つの成果物に2つの RFID タグが付与されることになる．そのうち代表となる部品のタグのみが実質的にその後の工程で利用される．また，分岐工程では1つの成果物が作業結果により複数に分割される．図7の場合，3つの RFID タグの代表タグに対して，分割された分の連番を採番し，1つ1つに RFID タグが付与される．

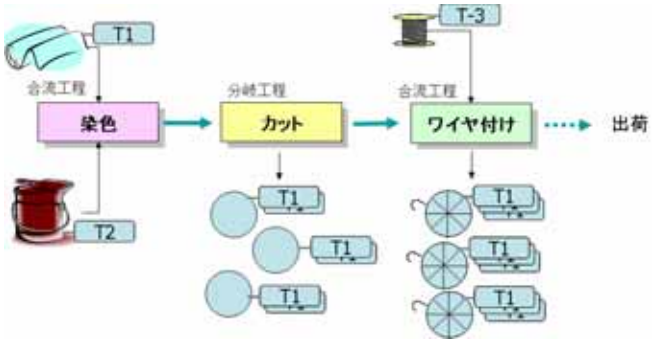

図7　工程と RFID タグ付与の動き

RFID タグリーダ／ライタは，倉庫，生産設備ごとに設置され，部品に付与した RFID タグを読み込み，棚，キュー（テンポラリキュー，レディキュー）への移動を，搬送具に指示する．また，搬送ルート上の分岐直前にも設置され，RFID タグに書き込まれた次の工程アドレスを読み取り，工程間の移動の制御を行う．

工程作業が終了した場合にはそのステータスを，キャンセル・数量減少など受注情報が変更になった場合にはその情報を，RFID タグリーダ／ライタを経由し

て RFID タグに書き込みを行う.

③　搬送具

RFID タグが付与された部品を, 倉庫, 生産設備, 出荷置き場へ移動させるものであり, ベルトコンベア, 自動搬送車などを想定している. 搬送具の行き先は, RFID タグに書き込まれた工程の IP アドレスを, 倉庫ゲート, 搬送ルートに設置された RFID タグリーダ／ライタが読み取り, ベルトコンベアの場合はその制御コンピュータに送信, 自動搬送車の場合は自動搬送車自身にデータを送信し, 行き先を制御する.

④　生産管理サーバ

生産活動に関わる受注情報, 生産計画情報, 在庫情報, 設備稼働率, 基準情報などの生産情報を格納するデータベースを持つ. また, 以下の機能を保有する.

(a)受注情報を取り込み, 生産計画を立案し, 発注情報作成･発注, 初回の製造指示を作成.

(b) 発注した部品の受入れ時に, 部品の LifeTimeInformation の RFID タグへの書き込みを制御.

(c)受注変更情報を, 生産設備の制御コンピュータに渡し, 設備からは稼動状況を取得.

受注情報は, 生産計画の元情報であり, また, 数量減少 (キャンセル, 数量減少) , 数量増加, 製品品種増加, 納期変更等の受注変更情報も有する.

生産計画情報は, 受注情報, 受注変更情報から立案され, どの製品を何個, いつまでに生産するかという計画情報である. 立案された生産計画は, 発注情報, 製造指示情報の元情報になる.

⑤倉庫

倉庫は, 部品を保管する棚と棚の入庫･出庫を制御するコンピュータ, その上で稼働するソフトウェアから構成される. 棚に格納された部品は, RFID タグに書かれた製造着手日になると棚から出庫され, ベルトコンベアまたは自動搬送車で生産設備まで移動する.

(3)RFID のメモリ構造

RFID には, 工程を経て製品になっていく過程を示す, 大まかな工程計画が書き込まれている. また, 合流工程を経る部品については合流する部品情報や生産設備の加工条件が書き込まれている.

RFID のメモリ構造は, 基本固定部分と拡張可変部分からなり, 図8で示されるような配置をとる.

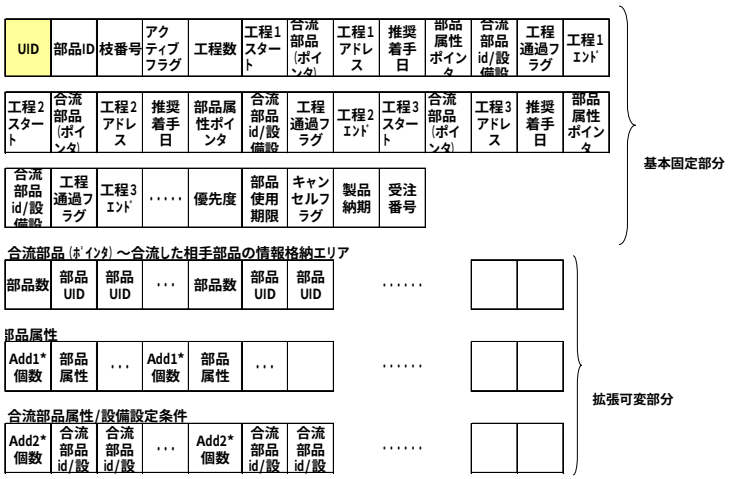

図8　RFID タグのメモリ構造

(4)正常系の動作メカニズム

動作メカニズムの概要は以下のとおりである. ここでは簡単のため, 搬送具としてベルトコンベアを扱うことにする.

受注情報をオーダとして取り込み, 中央の生産管理サーバで生産計画を立案 (製品品種, 数量, 納期) する. この生産計画に基づいて原材料･部品の手配オーダを生成し, サプライヤに発注を行う. 原材料･部品は, 入荷時に生産管理サーバの機能である入出庫管理機能で入荷･入庫処理を行い, RFID タグを出力 (品番, 品名, 受注番号, 払出し先工程アドレス, 納期など) し, 部品に付与を行い, 倉庫に入庫する.

また, 生産計画から工程展開を行うことで製造指示を生成し, 生産設備 (ワークセンタ) を制御しているコンピュータに送信する.

倉庫では, 部品に付与された RFID タグに書き込まれている「推奨着手日」になると, 部品がベルトコンベアに押し出される.

ベルトコンベアの脇には, 工程ごとにワークセンタが配置されている. また, ワークセンタの手前には RFID タグリーダ／ライタがあり, ベルトコンベアで搬送される部品の RFID タグ情報から, 次に向かうワークセンタの IP アドレスを取得し, 工程間の移動を制御し, 次のワークセンタの前でベルトコンベアから部品を降ろす処理を行う. 降ろされた部品は, ワークセンタのテンポラリキューに置かれる. ワークセンタはそれに接続されたプログラムによって制御される. また, コンピュータには RFID タグリーダ/ライタも接続され, テンポラリキューの中の部品の出し入れを制御する. それ以降の処理は工程の種類によって, 次のように動作する.

①1種類の部品だけでワークセンタでの加工を行う工程では，「推奨着手日」と「今の日時」を比較する．その結果，対応するものをテンポラリキューからレディキューに移動し，レディキューの1番目に並ぶ部品の RFID タグを読み，加工を開始する．

②複数の部品を合わせて加工を行う合流工程の場合には，テンポラリキューの中の部品の RFID タグを順に読み，LifeTimeInformation から互いに組み合わせとなる部品を探し，見つかった場合にはそれらをセットにしてレディキューにおく．レディキューに並ぶセットは，推奨着手日が早い順にソートされ，代表部品の RFID 情報から必要な部品がそろったと判断されると加工を開始する．加工作業が終了すると，代表部品のアクティブフラグはそのままオン，非代表部品のアクティブフラグはオフに変更し，これ以降は代表部品の RFID タグのみを読むように設定する．

③分岐工程の場合には，加工作業終了時に，1つ1つの成果物に連番を採番し，それを書き込んだ RFID タグを付与する．

①②③の場合とも，加工作業終了時に，RFID タグ情報を読み込み，次のワークセンタの IP アドレスを取得し，ベルトコンベアで次のワークセンタに部品を移動する．最終工程まで終了すると，次のワークセンタとして倉庫の IP アドレスが記述されているので，ベルトコンベアで倉庫に移動し，出荷日時が来るまで待つ．

(5)異常系の動作メカニズム

異常系は，①入力が変化した場合（生産数量増減，生産種類増減，キャンセル）と②生産リソースが変化した場合（設備の故障）と③やり直し（再処理）の場合に大別できる．各ケースの対処方法を表1に示す．

①入力が変化した場合の動作

生産数量増加は増加分だけの生産計画，製造指示を作成し，生産種類増加は増加分だけの生産計画，製造指示を作成することで対応する．

減少・キャンセルでは，キャンセルは生産数量0になったと認識，種類の減少は，その製品種の生産数量が0になったと認識して対応する．

数量減少は，いくつまで生産すればいいかで生産減少を制御する．

②生産リソースが変化した場合

設備の故障は，稼働率を見て，代替設備に振替を行うことで対処する．

③やり直し（再処理）

RFID 情報の，再処理を行う工程のカレントステータスをオフにすることで，再度その工程への移動を制御する．特に再処理は，部品の交換の有無と，交換部品が代表部品かそうでないかにより，次のように処理が異なる．

(a) 代表部品の交換を伴う再処理

非代表部品（代表でない部品）の情報は，RFID タグ内の代表部品の「合流部品（ポインタ）」から取得できる合流部品UIDをもとに，それを持つ RFID タグを探すことで取得する．また，新しい代表部品の「合流部品（ポインタ）」に非代表部品の「部品UID」を設定する．次に，交換した代表部品の次の工程アドレスに不具合品置き場を設定する．

(b) 非代表部品の交換を伴う再処理

代表部品の「合流部品（ポインタ）」から取得できる交換する非代表部品のUIDを削除，再処理を行う工程について，代表部品の「工程通過フラグ」を「終了」から「未終了」に変更する．非代表部品の「代表部品の工程通過フラグ」を「終了」から「未終了」に，アクティブフラグをオンに，次の行き先工程アドレスに不具合品置き場を設定する．合流工程終了時には,代表部品の「合流部品（ポインタ）」に新しい非代表部品の UID を書き込む．

(c) 部品交換を伴わない再処理

非代表部品，代表部品の再処理を行う工程の「工程通過フラグ」を「終了」から「未終了」に変更する．次に，非代表部品のアクティブフラグをオンにし，代表部品，非代表部品とも，再処理を行う工程に移動させる．

4．動作メカニズムの例示

本研究の特徴と有益性を明確化するため，合流工程⇒分岐工程⇒合流工程という工程手順を想定し，RFID タグ上の情報がどのように書き換わるかを確認した．

(1) 第１工程（合流工程）での処理

初工程開始前の各部品の RFID タグのメモリ情報を図9に示す．この状態から，第1工程（合流工程）終了時に次のような処理を行う．

①代表部品の RFID タグを読み取り，代表であることを示す「アクティブフラグ」をオンにする．

②どの部品と統合されたかは，代表となる部品の RFID タグの「合流部品（ポインタ）に「部品数」と「部品UID」を記述することで示す．

③非代表部品のアクティブフラグをオフにする．

④どの部品と統合されたかは，代表部品の「合流部品（ポインタ）」内の「部品UID」からUIDを取得し，それを持つ RFID タグを探すことで取得できる．

(2)　第2工程（分岐工程）での処理

分岐工程では，カットにより（分割分－1）の RFID タグが発生する．その際，UID，枝番号以外は，元の RFID タグの情報をコピーする．UIDはタグごとに固有である．枝番号は，000 から分岐（分割）された分だけ 000 からシーケンシャルに採番され，設定される．

(3)第3工程（合流工程）での処理

分割された1つ1つに対して，(1) 第 1 工程（合流工程）での処理を実施する．

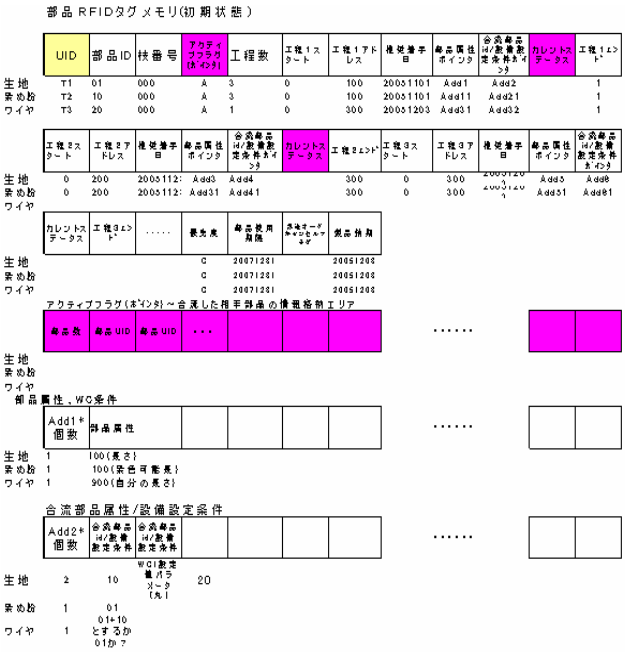

図9　初工程開始前のＲＦＩＤタグのメモリの状態

5．関連研究

生産設備の制御装置やセルコントローラの高機能化，生産システムの通信プロトコルの高度化，標準化などの技術の進歩により，生産システムの構成要素に自律的な意思決定と通信機能を持たせ，構成要素が情報交換を行いながら自律的に生産プロセスを実行していく分散型の生産システムの概念が提唱されている[1][2][3].

これらは主に生産スケジューリング，加工工程の工程設計の分野に適用されている[4][5][6][7]が，受注の変更，または生産計画の変更との連動されていない．他に，生産計画分野に応用した研究もあるが [8]，生産設備制御,モノの運搬管理との連動に至っていないのが現状である．

6．期待効果と課題

期待効果については，選定指標，測定方法を今後の検討課題としている．

参考文献

[1] 森脇，杉村，Martawirya，蜷川，自律分散型生産システムの設計と運用に関する研究(基本構成と生産スケジューリングへの適用)，日本機械学会論文集，58-549，C，pp.1674-1679(1992).

[2] N.Sugimura，Y.Tanimizu and T.Yoshioka，A study on object oriented modeling of holonicmanufacturing system,，Manufacturing Systems，　27-3, pp.253-258(1999).

[3] 樋野，森脇，ホロニック生産システムの概念の提案，日本機械学会論文集, 67-658，C, pp.2063-2069(2001).

[4] 樋野，森脇，再帰的伝播法による分散型ジョブショップスケジューリング，日本機械学会論文集，66-647，C，pp.2449-2455(2000).

[5] 樋野，森脇，再帰的伝播法による分散型ジョブショップスケジューリング(第2報，階層構造を有するシステムのスケジューリング)，日本機械学会論文集，66-651，C，pp.3791-3798(2000).

[6] K.Iwamura et. al.，A study on real-time scheduling methods in holonic manufacturing systems, Proc. of the 5th DIISM, 3-14(2002).

[7] 杉村延広，スヨト，田中毅，ホロニック生産のための工程設計システムに関する研究（第1報，システムの基本構成と加工フィーチャーの認識），http://www.mecha.osakafu-u.ac.jp/~syslab/teachers/sugimura/9901.PDF

[8] （株）東芝研究開発センター　成松克己,鳥居健太郎，ホロニック（階層的自律分散）サプライチェーン計画システム，IMS 研究成果講演論文集　(2004.7.28～29), pp.119-122(2004)．

[9] HMS コンソーシアム編，ホロニック生産システム，日本プラントメインテナンス協会(2004).

[10] 山田茂樹，二神新，呼処理の並列性を生かしたデータフロー制御交換システム，電子通信学会論文誌，Vol.J69-B, No.8, pp.755-765(1986).

[11] 日本電気情報処理製造　装置システム事業部，実践 MRP 方式による生産管理システム　システムの考え方から設計･導入まで，日本能率協会（1982）．