

# 自律型製造システムモデルを用いた総利益最大化指向の Web 型ものづくりビジネスの一提案

京都情報大学院大学

## ■ 執筆者 Profile ■



2004年 現在 京都情報大学院大学 教授

2010年 岡山大学大学院自然科学研究科博士後期課程

産業創成工学専攻修了

博士（工学），技術士（総合技術監理・情報工学部門），EMF 国際エンジニア，APEC エンジニア，IT コーディネータ

生産システムなどの研究に従事．計測自動制御学会，システム制御情報学会，日本生産管理学会，日本経営工学会，IEEE などの各会員．

## ■ 論文要旨 ■

インターネット・Web.Cloud 技術の進展にしたがって顧客と Web システムとが連携したサービスビジネスにおける情報通信技術の活用はめざましいものがある．一方，ものづくりビジネスでは，顧客と製造システムとが直接インターネット・Web.クラウド経由で取引をおこなうことは少ない．

本論文では，最初に従来型の生産システムの課題を述べ，つぎに提案する Web 型ものづくりビジネスモデル・自律型製造システムモデルおよび総利益最大化スケジューリングのアルゴリズムについて述べる．最後に製造装置自身が顧客と直接交渉し自律的に総利益最大化対応ができる Web 型ものづくりビジネスモデルを機械部品加工およびラピッドプロトタイプングビジネスに適用した場合の実現の可能性について言及する．

ここで，自律型製造システムモデルは，特定・不特定な顧客からの製品作成の依頼を直接受け，自身の保持している能力（機能・性能），スケジューリング，評価・判断機能をより処理を行うものである．

また，“総利益最大化”とは，インターネットより複数の顧客から依頼されるジョブの中よりジョブ選択を行いジョブの合計利益が最大となるジョブ群を選択し得られる機会損失の低減や設備利用率の向上に基づく利益のことである．

## ■ 論文目次 ■

<b>1. はじめに</b> .....	《 4》
<b>2. 従来型の生産システムの課題</b> .....	《 4》
<b>3. 提案するものづくりビジネスモデルの概要</b> .....	《 5》
<b>4. インターネット利用の自律型製造システムモデル</b> .....	《 6》
4. 1 自律型製造システムモデル .....	《 6》
4. 2 自律型製造装置モデル .....	《 7》
<b>5. 提案モデル概要</b> .....	《 8》
5. 1 概要 .....	《 8》
5. 2 前提条件 .....	《 8》
5. 3 記号 .....	《 9》
5. 4 変数の関係式 .....	《 9》
<b>6. 総利益最大化スケジューリングのアルゴリズム</b> .....	《 9》
6. 1 前提条件 .....	《 9》
6. 2 バックワード・スケジューリング法の考え方と総利益最大化処理 .....	《 10》
6. 2. 1 印刷可否処理 .....	《 10》
6. 2. 2 バックワード・スケジューリング法の総利益最大化処理 .....	《 11》
6. 3 フォワード・スケジューリング法の総利益最大化処理 .....	《 11》
6. 4 数値実験 .....	《 12》
6. 4. 1 前提条件 .....	《 12》
6. 4. 2 数値実験条件 .....	《 12》
6. 4. 3 数値実験結果と考察 .....	《 12》
<b>7. ものづくりビジネスへの適用</b> .....	《 14》
7. 1 機械部品加工およびラピッドプロトタイピングものづくり ビジネスのイメージ .....	《 14》
7. 2 市場製品のインターネットものづくりビジネスへの適用の可能性 .....	《 14》
<b>8. おわりに</b> .....	《 16》

## ■ 図表一覧 ■

図 1	生産における諸機能の関係	《 5》
図 2	ものづくりビジネスにおけるB2BおよびB2Cの概念	《 5》
図 3	自律型製造システムモデルによるインターネット ものづくりビジネスの概念	《 6》
図 4	自律型製造装置モデルの構造	《 7》
図 5	任意の時間間隔における複数のジョブ情報の取得と 総利益最大化処理の関係	《 10》
図 6.1	1台のAPEMの評価対象ジョブ数と平均最大総利益および 平均選択ジョブ数との比較結果	《 13》
図 6.2	2台のAPEMの評価対象ジョブ数と平均最大総利益および 平均選択ジョブ数との比較結果	《 13》
図 6.3	3台のAPEMの評価対象ジョブ数と平均最大総利益および 平均選択ジョブ数との比較結果	《 13》
図 7	自律型工作機械システム・自律型ラピッドプロトタイピングシステムによる インターネット部品加工ビジネスや試作品製作ビジネスのイメージ	《 14》
図 8	ものづくりサービスと自律型工作機械装置の活用を想定したビジネスイメージ …	《 15》
表 1. 1	APEMのソフトウェア機能一覧（その1）	《 7》
表 1. 2	APEMのソフトウェア機能一覧（その2）	《 8》
表 2	APEMの主要な構成ハードウェア一覧	《 8》
表 3	全ての依頼ジョブの実行可・不可の条件	《 11》
表 3	全ての依頼ジョブの実行可・不可の条件	《 11》
表 4	印刷ジョブ情報	《 11》
表 5	スケジュール先行関係表の例	《 11》

## 1. はじめに

21 世紀に入り情報通信技術の機能・性能の進展はめざましく、インターネット・Web・クラウド・コンピューティング技術は、世界の国々のビジネス・教育・産業・社会などの色々な分野で活用されている。ビジネスの分野では、大きく分けて“サービスビジネス”と“ものづくりビジネス”の2種類がある。

“サービスビジネス”，すなわち，顧客である生活者や生産者が，直接，インターネット・Web.経由で家庭用電化品・日用雑貨品・衣料品・食料品，産業用の各種部品・製品など多岐にわたる商品・製品の価格・納期・仕様（機能・性能）などを参照し購入できるビジネスやホテル宿泊・旅行・観劇・鉄道・航空機チケットなどの価格・サービス・日程を参照し予約できるビジネスが活発におこなわれている。

一方，“ものづくりビジネス”も同様に，顧客自身が用意したドキュメント情報や設計情報などを用いてインターネット・Web.経由で製造装置と直接対話をおこない，製造装置自身が提示する依頼品の価格・納期・仕様（機能・性能）などを参照し依頼品の製造発注をおこなう仕組みが考えられる。しかし，現状ではこれらの仕組みは少ない。

本論文では，最初に従来型の生産システムの課題を述べ，つぎに提案する Web 型ものづくりビジネスモデル・自律型製造システムモデルおよび総利益最大化スケジューリングのアルゴリズムについて述べる。最後に，提案するビジネスモデルを機械部品加工ビジネスおよび試作ビジネスに適用した場合の実現の可能性について言及する。

ここで，“総利益最大化”とは，インターネットより複数の顧客から依頼されるジョブの中よりジョブ選択を行いジョブの合計利益が最大となるジョブ群を選択し得られる機会損失の低減や設備利用率の向上に基づく利益のことである。

## 2. 従来型の生産システムの課題

ものづくりビジネスの中核をなす従来型の生産システムの課題について述べる。この生産システムの代表的な構成として図1に“生産における諸機能の関係”を示す。1980年代には，少品種大量生産，変種変量生産，多品種少量生産を志向した中・大規模なものづくりのためのコンピュータ統合生産(CIM: Computer Integrated Manufacturing)が紹介された。その後，JIT(Just In Time)生産などが登場し生産効率向上に寄与してきた。これらの生産方式の代表例である CIM は，情報通信技術を用いて“販売，開発・設計，製造および経営管理”の4者の情報を統合し生産管理を行うシステムである。CIM の統合化の概念は，“情報ネットワークの構築”および“データの一元管理と統合データベースの構築”である。このように CIM は，ものづくりの集中管理システムである。この欠点は，システムに変更や不具合が発生するとシステム全体に影響し，“システムの柔軟性を失う”ことである。また，JIT 生産は製販一体化（製造と販売の統合）の CIM である。JIT 生産の起点は，顧客の発注である。顧客の発注条件は，販売側から即座に生産側に伝達され，納期絶対遵守の生産計画が設定される。すなわち，顧客が発注決定を行った後，決められた手順に従って実行するのみである。JIT 生産の欠点は，“過度な同期システム”，“後工程主導による前工程への不利な条件発生”および“混流生産対応の不足”である。また，これらの中・大規模向け生産システムは，顧客と製造システムとが，インターネット・Web.経由で直接対話を

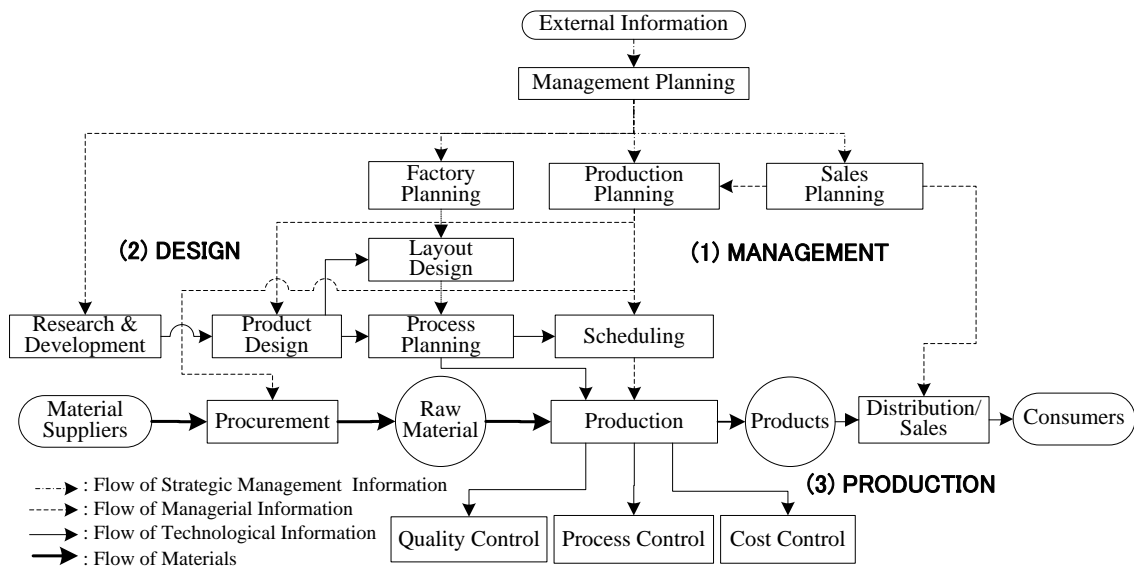


図1 生産における諸機能の関係 [1]

おこない顧客が依頼する製品の価格・納期・仕様（機能・性能）を迅速に交渉・対応することが困難なことである。

### 3. 提案するものづくりビジネスモデルの概要

提案するものづくりビジネスモデルは、情報通信技術の革新的な進歩に伴って顧客と製造業者および生産システムとの距離が飛躍的に近くなったことに起因する。すなわち、従来型のものづくりビジネスでは、困難であった顧客（生産者・生活者）と（自律型）製造システムとが直接対話・交渉し、もづくりができるビジネスモデルである。

図2に“ものづくりビジネスにおける B2B(Business to Business)および B2C(Business to Consumers)の概念”を示す。以下に、図2の説明をおこなう。

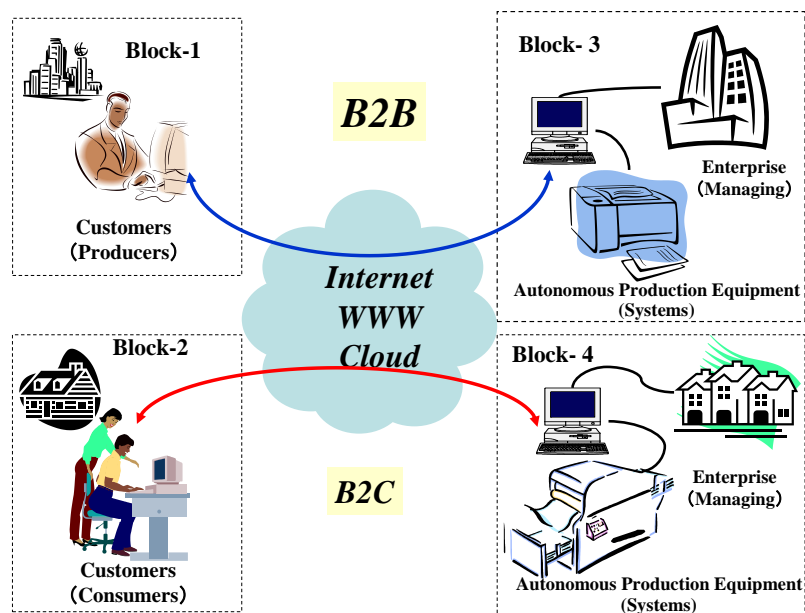


図2 ものづくりビジネスにおける B2B および B2C の概念

ブロック-1やブロック-2の顧客（生産者・生活者）は、インターネット・Web・クラウドサービスなどを利用し“24 時間いつでもどこでも”顧客自身が用意した依頼品：ドキュメント情報や設計情報などに基づいて、インターネットの検索エンジン・電子メール・Web.などを利用し依頼品の製造ができるブロック-3やブロック-4の製造業者の自律型製造システムを検索する．顧客は可能性のある自律型製造システムと直接対話をおこない依頼品の価格・納期・仕様（機能・性能）の交渉をおこなう．最終的に価格条件が成立すれば、自律型製造システムは顧客の依頼条件にしたがい製品を製造し顧客に届ける．この提案するものづくりビジネスモデルでは、顧客が意志決定をおこなった瞬間に、製造業者の自律型製造システムは、迅速に意志決定をおこなわなければビジネスは成立しない [2]．また、このビジネスモデルが実現すれば、顧客は、世界に1つしかない“自分だけの製品”を注文することも可能になる[3]．

## 4. インターネット利用の自律型製造システムモデル

### 4. 1 自律型製造システムモデル

図3に自律型製造システムモデル[4],[5]によるインターネット利用のものづくりビジネスの概念を示す．この図は、複数の特定・不特定顧客が、PC(Personal Computer)をインターネットに接続し、Web ブラウザ(例, Internet Explorer)を用いて Web ジョブ管理サイト(AJMEM: Autonomous Job Management Equipment Model)にジョブの依頼・発注をおこなう．AJMEM は、顧客より依頼された複数のジョブを管理する．

一方、複数の製造業者はそれぞれの Web 製造サイトを運用し、複数台の自律型製造装置モデル (APEMs: Autonomous Production Equipment Models) を管理している．製造業者の Web 製造サイトは、Web ジョブ管理サイトと連携し特定・不特定顧客からの依頼ジョブ群情報を入力し、他の製造業者と競争状態ある中で、自社にとって総利益が最大となる有利なジョブ群を、AJMEM の依頼ジョブの中から選択・抽出し、これらのジョブ群を製造業者の複数台の APEM を用いて製造する．

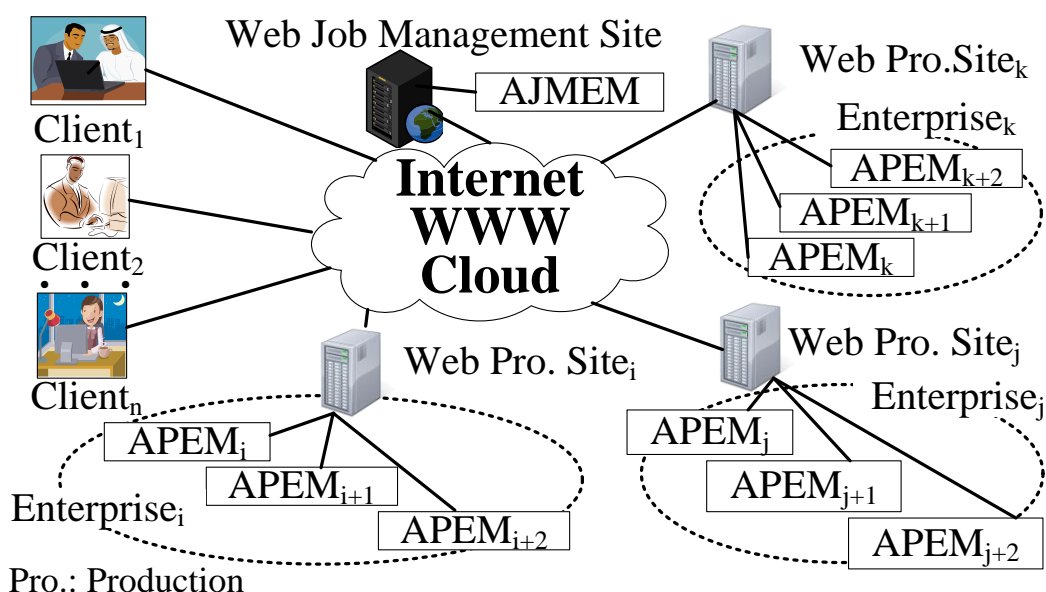


図3 自律型製造システムモデルによるインターネットものづくりビジネスの概念

## 4. 2 自律型製造装置モデル

図4に米国特許[6]を取得した自律型製造装置モデル (APEM) の構造を示す。APEM は 5 つのエージェント・ソフトウェアと 2 つのハードウェアから構成される。表 1. 1 および表 1. 2 に APEM のソフトウェア機能一覧を、表 2 に APEM の主要なハードウェア構成一覧を示す。ここで、“自律”とは APEM 自身がジョブスケジューリングを行い、その結果に基づき総利益最大化ジョブスケジューリングを選択・決定できることをいう。

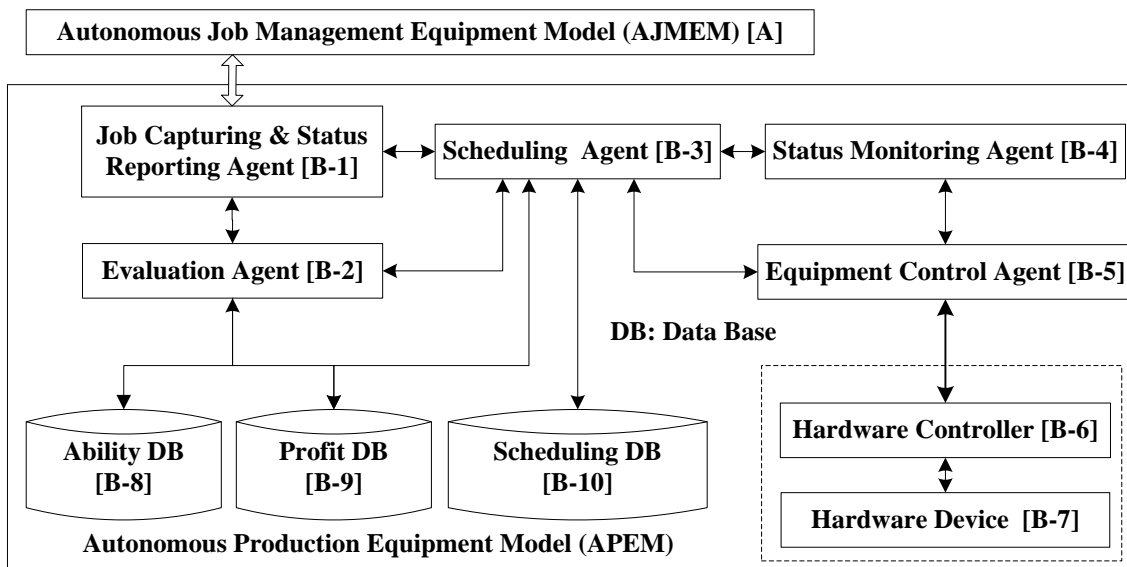


図4 自律型製造装置モデルの構造

表 1. 1 APEM のソフトウェア機能一覧 (その 1)

項目	機能説明
[B-1] ジョブ取得・状況報告エージェント	<ul style="list-style-type: none"> <li>ジョブ取得管理と評価エージェントとの連携機能 AJMEM[A]に格納されたジョブ情報を取得する。APEM が取得したジョブ情報の処理可否判断のため評価エージェント [B-2] へ評価を依頼する。</li> <li>AJMEM への進捗状況の報告機能</li> <li>特定・不特定多数の顧客へのジョブ受注可否と進行状況報告機能</li> </ul>
[B-2] 評価エージェント	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造能力判定機能 製造能力 DB[B-8]を参照し適合・不適合の判定処理をする。</li> <li>スケジューリング・エージェントとの連携機能 製造能力の可否判定に基づきスケジュール・エージェント[B-3]に納期の適合・不適合の評価・判断を依頼する。不適合の場合、ジョブ情報・状況報告エージェント[B-1]へジョブ受注不可の通報をする。</li> <li>ジョブ群の総利益最大化処理機能 ジョブ群情報に基づき利益 DB[B-9]を参照し、個別ジョブの利益計算処理をする。併せて、スケジュール・エージェントからの注目ジョブ群の総利益最大化処理を実施する。</li> <li>総利益最大化ジョブスケジューリング機能 総利益最大化処理よりのジョブスケジューリング処理を実施する。</li> </ul>

表1. 2 APEM のソフトウェア機能一覧 (その2)

項目	機能説明
[B-3] スケジュール・エージェント	<ul style="list-style-type: none"> <li>ジョブ・スケジューリング機能 評価エージェント[B-2]より送信された製造能力に適合したジョブ群情報は製造スケジュール情報が格納されているスケジュール DB[B-10]を参照し、ジョブスケジュールの実行可否処理をする。この実行可否結果を評価エージェントに送信する。</li> <li>評価エージェントとの連携機能 評価エージェントから決定された総利益最大化ジョブスケジューリング情報を入手する。</li> <li>ジョブ取得・状況報告エージェントと状態監視エージェントとの連携機能 総利益最大化ジョブスケジューリングに適合したジョブ群の場合、ジョブ受注の通報をジョブ取得・状況報告エージェント[B-1]へ行う。併せて、状態監視エージェント[B-4]へ適合ジョブ群情報一式を順次送信し製造依頼をする。不適合の場合、ジョブ取得・状況報告エージェント[B-1]へジョブの受注不可を通報する。</li> </ul>
[B-4] 状態監視エージェント	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置制御エージェントとスケジューリング・エージェントとの連携機能 装置制御エージェント[B-5]より、逐次、ジョブ実行状態情報を取得しスケジュール・エージェント[B-3]に送信する。</li> </ul>
[B-5] 装置制御エージェント	<ul style="list-style-type: none"> <li>状態監視エージェントと装置制御部との連携機能 状態監視エージェント[B-4]から、適合ジョブ情報を逐次受信し、装置制御部[B-6]に逐次製造命令を送信する。同時に装置制御部からの稼働状況情報を状態監視エージェント[B-4]に報告する。</li> </ul>

表2 APEM の主要な構成ハードウェア一覧

項目	説明
[B-6] 装置制御部	ハードウェア[B-7]を制御するハードウェアである。
[B-7] ハードウェア	装置制御部[B-6]の指示・制御に基づき製造を行うハードウェアである。

## 5. 提案モデル概要

### 5. 1 概要

提案モデルの説明をデジタル印刷装置を例にし行う。また、数値実験モデルで用いる機能は、図4に示す自律型管理装置モデル (AJMEM) のジョブリストテーブル、自律型製造装置モデル (APEM) の評価エージェント[B-2]、スケジュールエージェント[B-3]、利益データベース[B-9]およびスケジューリングデータベース[B-10]とする。

### 5. 2 前提条件

提案モデルも前提条件を以下に示す。

- (1) AJMEM は、顧客よりの依頼ジョブ情報を受信する。APEM はその情報を参照する。
- (2) APEM は、単一工程の装置であり、複数ジョブを同時実行しない。
- (3) APEM は妥当な時間間隔毎に AJMEM の依頼ジョブ群情報を参照し評価を行う。
- (4) AJMEM および APEM は、全自動運転を行う。



- (5) 総利益最大化にはバックワード・フォワード・スケジューリング法を用いる。  
 (6) 対象依頼ジョブは、APEM の能力 DB[B-8]を用い処理実行可否の判断後のジョブとする。  
 (7) ジョブは、複数のワーク（適用例の場合、印刷用紙のページ枚数単位）で構成される。  
 (8) ジョブ処理の緊急度に応じて利益を加算する。

### 5. 3 記号

提案モデルで使用する主要な記号を次に示す。その他の記号は本文中に示す。

$i, j$	ジョブ番号 ( $1 \leq i, j \leq n$ )	$T_u(i)$	$J(i)$ の頁当たり印刷時間
$n$	ジョブの個数	$T_c(i)$	$J(i)$ の印刷後処理時間
$J(i), J(j)$	$i$ 番目, $j$ 番目のジョブ	$CN(i, k)$	$J(i)$ の印刷品種 $k$ の頁当たり印刷原価
$k$	印刷品種 ( $1 \leq k \leq m$ )	$t_s(i)$	$J(i)$ の印刷開始予定時刻
$m$	$k$ の種類	$t_e(i)$	$J(i)$ の印刷完了予定時刻
$\omega(i, k)$	$J(i)$ の印刷品種 $k$ に対応する印刷売価係数	$T_a(i)$	$J(i)$ の印刷所要時間
$l$	印刷優先実行コード ( $1 \leq l \leq w$ )	$J_c(i, k)$	$J(i)$ の個別原価
$w$	$l$ の種類	$PN(i, k)$	$J(i)$ の個別売価
$K(i, l)$	$J(i)$ の印刷優先実行コードの係数	$PE(i, k, l)$	$J(i)$ の優先実行個別売価
$N(i)$	$J(i)$ の印刷頁数	$PRN(i, k)$	$J(i)$ の個別利益
$t_d(i)$	$J(i)$ の顧客希望納期時刻	$PRE(i, k, l)$	$J(i)$ の優先実行個別利益
$Flg(j, i)$	$J(i)$ から $J(j)$ へのスケジュール実行可否 (1: 可, 0: 否) の判定フラッグ		

### 5. 4 変数の関係式

変数の関係式を以下に示す。

$$t_e(i) = t_d(i) - T_c(i) \quad (i=1, \dots, n) \quad (1)$$

$$T_a(i) = N(i) \times T_u(i) \quad (i=1, \dots, n) \quad (2)$$

$$t_s(i) = t_e(i) - T_a(i) \quad (i=1, \dots, n) \quad (3)$$

$$J_c(i, k) = N(i) \times CN(i, k) \quad (i=1, \dots, n, k=1, \dots, m) \quad (4)$$

$$PN(i, k) = \omega(i, k) \times J_c(i, k) \quad (i=1, \dots, n, k=1, \dots, m) \quad (5)$$

$$PE(i, k, l) = K(i, l) \times PN(i, k) \quad (i=1, \dots, n, k=1, \dots, m, l=1, \dots, w) \quad (6)$$

$$PRN(i, k) = PN(i, k) - J_c(i, k) \quad (i=1, \dots, n, k=1, \dots, m) \quad (7)$$

$$PRE(i, k, l) = PE(i, k, l) - J_c(i, k) \quad (i=1, \dots, n, k=1, \dots, m, l=1, \dots, w) \quad (8)$$

## 6. 総利益最大化スケジューリングのアルゴリズム

### 6. 1 前提条件

総利益最大化スケジューリングとしてバックワード・フォワード・スケジューリング法を用いる。また表3に“全ての依頼ジョブの実行可・不可の条件”を示す。すなわち、1台のAPEMが全部のジョブが実行できるジョブスケジューリングの場合(条件-1)と全部のジョブは実行できず、その一部分が実行できるジョブスケジューリングの場合(条件-2)

表3 全ての依頼ジョブの実行可・不可の条件

Condition-1	Condition-2
Possible to execute all the requested jobs within the due date.	Impossible to execute all the requested jobs within the due date.

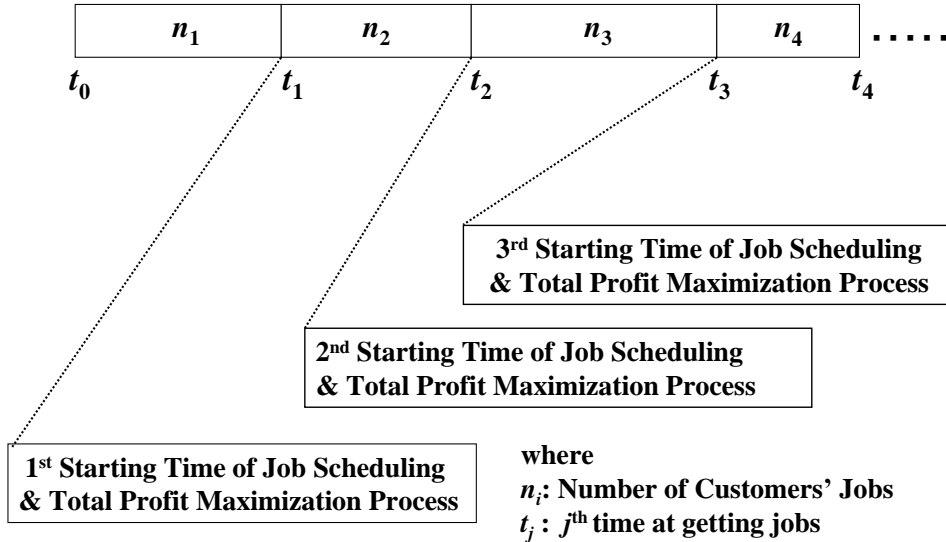


図5 任意の時間間隔における複数のジョブ情報の取得と総利益最大化処理の関係

を想定している。

図5に任意の時間間隔における複数のジョブ情報の取得と総利益最大化処理の関係を示す。ここでいう“総利益最大化”とは、条件-2を前提として任意の時間間隔内(ex. $t_1 \sim t_2$ )に、AJMEMに格納された複数ジョブ情報(ex. $n_2$ 個)をAPEMが一括参照し、ジョブ数 $n_2$ 個の中より総利益が最大となるジョブ群を選択しジョブスケジューリングすることをいう。

## 6. 2 バックワード・スケジューリング法の考え方と総利益最大化処理

### 6. 2. 1 印刷可否処理

表4に、印刷ジョブ $J(i)$ の印刷開始予定時刻 $t_s(i)$ の早い順の配列 $[J(i), t_s(i), t_e(i), PRE(i, k, l)]$  ( $1 \leq i \leq n$ )を示す。表5にスケジュール先行関係表の例を示し、同一ジョブ $J(1), \dots, J(n)$ を横方向(評価ジョブ列)と縦方向(参照ジョブ列)に配置する。印刷ジョブスケジューリングにおける印刷可否処理は、印刷可/否フラッグ $Flg(j, i)$ “1/0”(表5)を用いて、式(9.1)、式(9.2)および式(9.3)で与えられる。

- 印刷可の条件

$$\text{if } t_e(i) < t_s(j), \text{ then } Flg(j, i) = 1 \quad (9.1)$$

$$(1 \leq i \leq n, i \leq j \leq n)$$

$$\text{elseif } i=j \text{ then } Flg(j, i) = 1 \quad (9.2)$$

- 印刷否の条件

$$\text{if } t_e(i) \geq t_s(j), \text{ then } Flg(j, i) = 0 \quad (9.3)$$

$$(1 \leq i \leq n, i \leq j \leq n, i \neq j)$$

表4 印刷ジョブ情報

$J$	$t_s$	$t_e$	$PRE$
$J(1)$	$t_s(1)$	$t_e(1)$	$PRE(1,k,l)$
...	...	...	...
$J(i)$	$t_s(i)$	$t_e(i)$	$PRE(i,k,l)$
...	...	...	...
$J(j)$	$t_s(j)$	$t_e(j)$	$PRE(j,k,l)$
...	...	...	...
$J(n)$	$t_s(n)$	$t_e(n)$	$PRE(n,k,l)$

表5 スケジュール先行関係表の例

$J$	$J(1)$	...	$J(i)$	...	$J(j)$	...	$J(n)$
$J(1)$	$Flg(1,1)=1$						
...	...	1					
$J(i)$	$Flg(i,1)=1$	...	$Flg(i,i)=1$				
...	...	...	...	1			
$J(j)$	$Flg(j,1)=1$	...	$Flg(j,i)=1$	...	$Flg(j,j)=1$		
...	...	...	...	...	...	1	...
$J(n)$	$Flg(n,1)=1$	...	$Flg(n,i)=1$	...	$Flg(n,j)=0$	...	$Flg(n,n)=1$

**6. 2. 2 バックワード・スケジューリング法の総利益最大化処理**

バックワード・スケジューリング(BS: Backward Scheduling)法における総利益最大化処理は、式(10),式(11)および式(12)で与えられる。

$$F(i,j) = Flag(i,j)(PRE(i,k,l) + F_{BS}(j+1)) \tag{10}$$

$$(j \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n, 1 \leq k \leq m, 1 \leq l \leq w)$$

ここで  $i=j$ , または  $j > n$  の場合,  $F_{BS}(j+1)=0$

総利益極大値  $F_{BS}(j)$ は,

$$F_{BS}(j) = \max_{j \leq i \leq n} F(i,j) \tag{11}$$

ジョブスケジューリング群の中で最大となる最大総利益  $Z_{BS}$  は,

$$Z_{BS} = \max_{1 \leq j \leq n} F_{BS}(j) \tag{12}$$

で与えられる。

**6. 3 フォワード・スケジューリング法の総利益最大化処理**

BS 法で不採用となったジョブ  $J(q)$  ( $q=1, \dots, p$ ),  $t_s(q)$ ,  $t_e(q)$ ,  $PRE(q,k,l)$ を, 印刷開始予定時刻  $t_s(q)$ の最早順または  $PRE(q,k,l)$ の最大値順に配列する.  $J(q)$  の製造時刻前倒し可否処理は, BS 法の総利益最大化ジョブスケジューリングで採用されたジョブと不採用となったジョブを対象としてフォワード・スケジューリングを行う。

$J(q)$ および  $J(i+1)$ の前倒し製造による製品保管費控除後優先実行個別利益  $PRER(q)$ および  $PRER(i+1)$ は, それぞれ式(13), 式(14)となる. ここで,  $C_F(q), C_F(i)$ は, それぞれ  $J(q), J(i)$ の製品保管費である。

ジョブ利益優先順バックワード・フォワード・スケジューリング(PBFS: Profit Order of Backward Foward Scheduling)法の製品保管費控除後最大総利益  $Z_{PBFS}$  は, 式(15)となる. また, ジョブ印刷時刻優先順バックワード・フォワード・スケジューリング(TBFS: Time Order of Backward Foward Scheduling)法の製品保管費控除後最大総利益  $Z_{TBFS}$  は式(16)となる。

ここで, 式(15)と式(16)の違いは, 不採用ジョブの並び替え処理の  $PRE(q)$ 順と  $t_s(q)$ 順との違いである。

$$PRER(q,k,l) = PRE(q,k,l) - C_F(q) \tag{13}$$

$$PRER(i,k,l) = PRE(i,k,l) - C_F(i) \tag{14}$$

$$Z_{PBFS} = \sum_{i=1}^n Flag_R(i)PRER(i,k,l) + \sum_{q=1}^p Flag_R(q)PRER(q,k,l) \tag{15}$$

$$Z_{TBFS} = \sum_{i=1}^n \text{Flag}_R(i) \text{PRER}(i, k, l) + \sum_{q=1}^p \text{Flag}_R(q) \text{PRER}(q, k, l) \quad (16)$$

## 6. 4 数値実験

### 6. 4. 1 前提条件

前提条件に加えて以下の前提条件を付け加える。

- (1) 対象ジョブ群は、表 3 に示す条件-2 とする。
- (2) 印刷ジョブの入稿形態は、pdf ファイル原稿とする。
- (3) 依頼ジョブ情報の生成は一様乱数を用いる。
- (4) 総利益最大化スケジューリング処理の時間区間は、図 5 のいずれか 1 つの区間とする。
- (5) 自律型製造装置モデル(APEM)としてオンデマンド印刷機“DocuColor 8000 Digital Press”を用いその印刷仕様のデータを用いる[7]。

### 6. 4. 2 数値実験条件

数値実験条件を下記に示す。

- (1) 最大 3 台の APEM を用いる。
- (2) 総利益最大化スケジューリングは、APEM<sub>1</sub> のみの場合、APEM<sub>1</sub> と APEM<sub>2</sub> との場合および 3 台の APEM の場合の総利益最大化処理をおこなう。
- (3) 総利益最大化スケジューリング手法として PBFS 法および TBFS 法を用いる。
- (4) 実験ジョブ数  $n$  は、10 個、25 個から 250 個まで 25 個毎に合計 11 種類とする。
- (5) 印刷頁数は、ジョブの基準印刷頁数  $N(i)$  を 10,000 枚、変動印刷頁数を一様乱数を用い  $0 \sim \pm 5,000$  枚とする。
- (6) 印刷の種類は、白黒/カラー、片面/両面印刷の 4 種類とする。
- (7) 実勢価格は、参考文献[8]を用いた。
- (8) その他の設定パラメータは、参考文献[5]にしたがう。

### 6. 4. 3 数値実験結果と考察

数値実験の結果として、PBFS 法と TBFS 法の手順に従って図 6.1 に 1 台の APEM の場合の評価対象ジョブ  $n$  と平均最大総利益  $Z_{BFS}$  と平均選択ジョブ数  $J_N$  との比較結果を示す。つぎに図 6.2 に 2 台の APEM が連携した場合のその比較結果を示す。最後に図 6.3 に 3 台の APEM が連携した場合のその比較結果を示す。図 6.1 ~ 図 6.3 に示すように APEM の台数が増加するに伴って  $Z_{BFS}$  および  $J_N$  は向上している。

ここでは、3 台の APEM の平均最大総利益  $Z_{BFS}$  と平均選択ジョブ数  $J_N$  と評価対象ジョブ数  $n$  との比較結果について説明する。評価対象ジョブ数  $n$  が 150 個迄は、PBFS 法と TBFS 法は、共に平均選択ジョブ数  $J_N$  の直線的な増加に伴って、平均最大総利益  $Z_{BFS}$  も直線的に増加した。しかし、評価対象ジョブ数  $n$  が 175 個以上では、 $J_N$  の増加率が減少傾向を示したが、 $Z_{BFS}$  は漸次直線的増加を示した。このことは、評価対象ジョブ数  $n$  の増加により、新たな評価対象ジョブが個別利益・納期等の条件により優先的に採用されたためである。PBFS 法と TBFS 法共に、APEM 台数の増加に伴って最大総利益の増加が確認できた。

このことは、複数台の APEM を利用する場合、総利益を最大にする妥当な APEM 台数を決定することに有効となる。

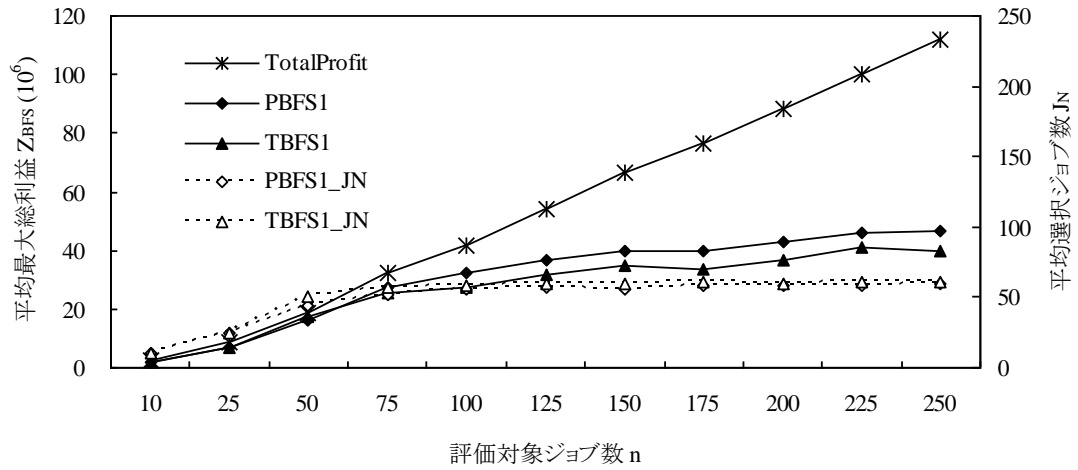


図 6.1 1 台の APEM の評価対象ジョブ数と平均最大総利益および平均選択ジョブ数との比較結果

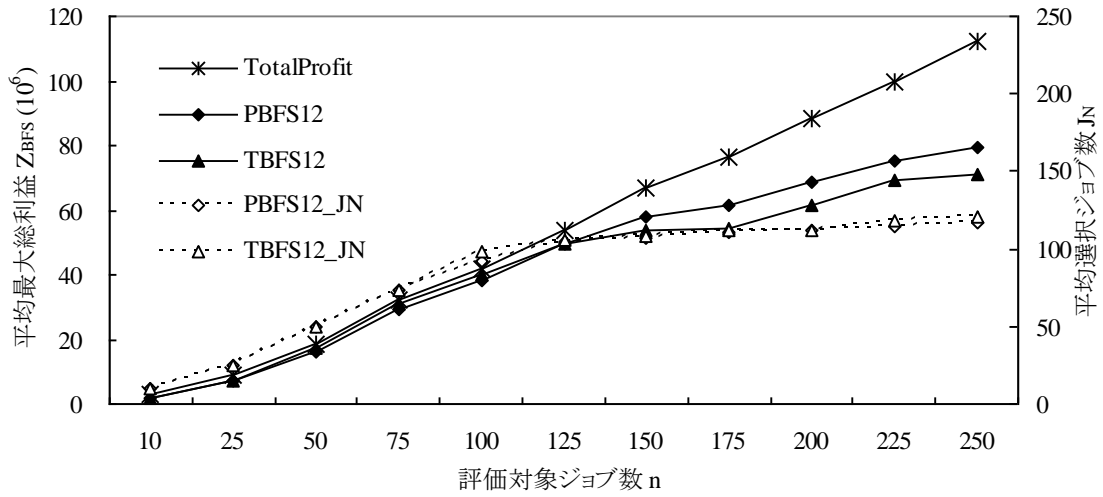


図 6.2 2 台の APEM の評価対象ジョブ数と平均最大総利益および平均選択ジョブ数との比較結果

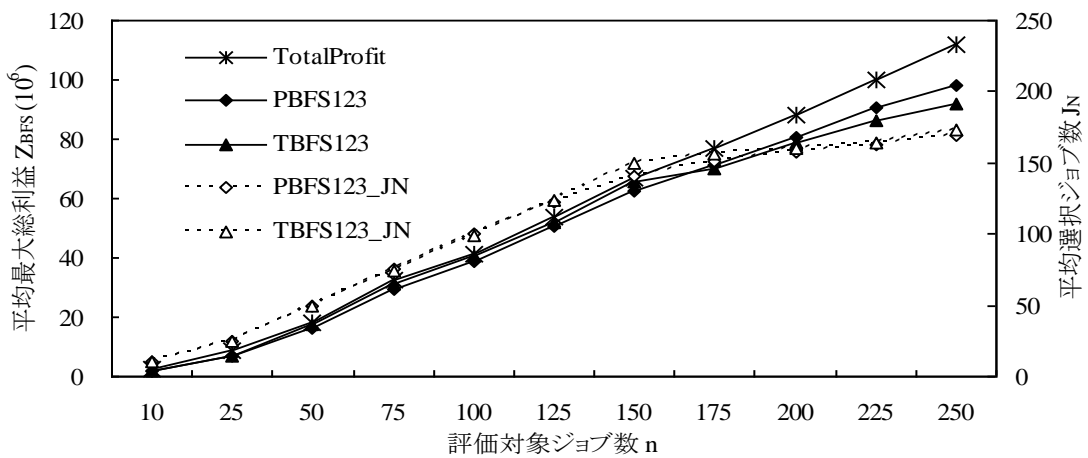


図 6.3 3 台の APEM の評価対象ジョブ数と平均最大総利益および平均選択ジョブ数との比較結果

## 7. ものづくりビジネスへの適用

### 7. 1 機械部品加工およびラピッドプロトタイピングものづくりビジネスのイメージ

機械加工ビジネスやラピッドプロトタイピングビジネス分野への適用の可能性について述べる。図7に、総利益最大化スケジューリング手法を用いた自律型製造装置モデル(APEM)に相当する自律型工作機械装置モデル(AMTEM: Autonomous Machine Tools Equipment Model)や自律型ラピッドプロトタイピング装置モデル(ARPEM: Autonomous Rapid Prototyping Equipment Model)を用いたインターネット機械部品加工や試作品製作ビジネスのイメージを示す。例えば、このAMTEMには、CNC(Computer Numerical Control)旋盤、CNCジグ中繰盤、CNC円筒研削盤などが相当する。また、ARPEMには、光造形法・粉末法・熱熔解積層法・シート積層法・インクジェット法によるラピッドプロトタイピング製造装置が対応する。これにより、24時間・365日、顧客とAMTEMやARPEMがインターネット経由で直接取引を行い総利益最大化をおこなうことが期待できる。

### 7. 2 市場製品のインターネットものづくりビジネスへの適用の可能性

最初に、現在市場に提供されている試作品などのものづくりサービスおよび工作機械製品を紹介する。つぎに、これらのサービスや製品を利用し、本論文で提案する“総利益最大化を指向したものづくりビジネス”の具体的な実現可能性について説明する。最後に想定するものづくりビジネスの手順について説明する。

#### (1) インターネットものづくりサービスの紹介

インターネットものづくりサービス企業の1つにプロトラブズ合同会社(PLS社)[9]がある。PLS社は、射出成形によるプラスチック部品・切削加工部品の試作品・小ロット生産などをビジネスしている。顧客は、インターネット経由で3D CADモデルデータをPLS社のWebサイトにアクセスする。PLS社は、この3D CADモデルデータを解析し、プラスチック部品の射出成形とCNCマシニング加工(切削加工)を短期間で行う試作部品と小ロット生産を行える仕組みを用意している。PLS社のものづくりサービスの特徴は、顧客がWeb上で依頼品の費用見積を行うことができ短納期を実現していることである。また、PLS社は、顧客の3Dモデルデータを樹脂流動解析シミュレーション・サービスを実施し、顧客が製作発注を行う前に不備の未然防止対策をおこなっている。

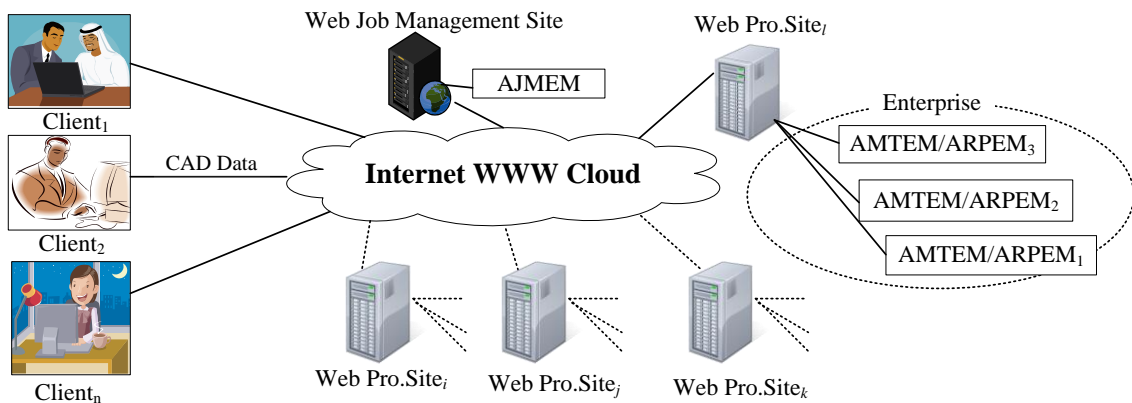


図7 自律型工作機械装置モデルや自律型ラピッドプロトタイピング装置モデルを用いたインターネット機械部品加工ビジネスや試作品製作ビジネスのイメージ

(2) 高精度・高効率複合加工機の紹介

主要な工作機械メーカーの1つである株式会社森精機製作所[10]は、多品種少量生産対応の高精度・高効率複合加工機であるNTXシリーズを提供している。この複合加工機の特長は、独自技術のDDM (Direct Drive Motor) ,ORC (Octagonal Ram Construction) ,BMT (Build-in Motor Turret) を採用し小型精密部品の高精度な完品加工を実現していることである。また、高性能オペレーティングシステム “MAPPS IV” を搭載し3次元干渉チェックや対話形自動プログラミング機能とCAMソフトウェア “ESPRIT®” を用いて難易度の高い加工プログラムの使用を可能にしている。併せて、自動化支援としてガントリローダ、バーフィードおよびロボット仕様製品を用意している。

(3) 想定するものづくりビジネスの実施手順

図8にもものづくりサービスと自律型工作機械装置の活用を想定したビジネスイメージを示す。このビジネス手順は、最初に、顧客[C-1]は設計した3D CADデータを見積依頼ジョブとして各AMTEMやARPEMに対応した見積依頼画面[C-2.1],[C-2.2]を操作し見積条件データをAJMEMに登録する。AMTEMやARPEMは、ある時間間隔でAJMEMに蓄積された複数の見積条件データを一括参照し、自動工程計画処理[C-3]と総利益最大化スケジューリング処理[C-4]を行う。その結果、依頼ジョブが製造可の場合は、顧客に連絡し依頼条件・価格・納期などを最終確認する。同時にAMTEMやARPEMは、AJMEMへ一括参照した依頼ジョブの実行の可否を通報する。製造可の依頼ジョブは、3D CADデータからCAMデータに自動変換[C-5],[C-6.1],[C-6.2]され自律機能化されたNTX2000において製造される。このようなものづくりビジネスの製造フローが実現できれば、顧客は、希望価格・希望納期の条件下で依頼ジョブの製造の可否情報を即座に把握でき意志決定が迅速に行えるメリットがある。一方、AMTEMやARPEMは、自身の装置の総利益を最大にするジョブ群選択・決定を24時間・365日、自律的に行うメリットがある。このことは、不況下においても利益確保が最優先課題である製造業者にとって有益となる。以上のことより、顧客・製造業者、双方にとってWin-Winの関係が期待できる。

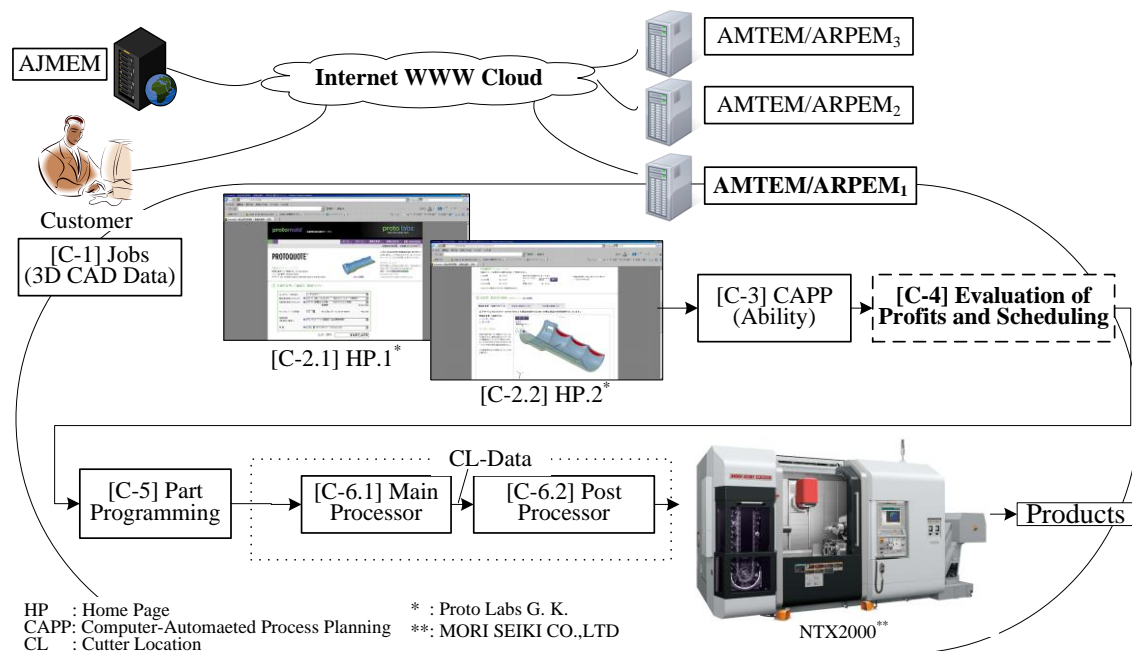


図8 ものづくりサービスと自律型工作機械装置の活用を想定したビジネスイメージ

## 8. おわりに

情報通信技術の急速な発展に伴って、インターネット利用のWebサービス・ビジネスは加速度的に普及・拡大し、顧客はその利便性と恩恵を享受している。一方、インターネット利用によるWeb型ものづくりビジネスは、サービス・ビジネスのようにその利便性と恩恵を十分に享受されていない。この普及・拡大には、製造業者の最大の関心事である売上げの増大、特に利益の確保・向上を実現するために製造装置自身の自律化とその主要機能である総利益最大化スケジューリング機能が必要と考える。

ここでは、製造装置自身が顧客と直接交渉し自律的に総利益最大化対応ができるWeb型ものづくりビジネス：機械部品加工およびラピッドプロトタイプングビジネスを提案した。本論文を参考にいただき、我が国のものづくりビジネスが発展・向上することを期待する。

## 参考文献

- [1] Hitomi, K. : Manufacturing Systems Engineering (Second Edition), Taylor & Francis(1996), p.80
- [2] 高橋琢磨：“ユビキタス・ネットワーク社会と日本の産業競争力”，知的資産創造，(2001.10), pp.6-29
- [3] 井上善臣：“ITを活用した地域交換取引システム(LETS)による工業団地内の中小企業の活性化に関する調査研究”，電気通信普及財団研究調査報告書，第17号，(2002), p.123
- [4] 柏原秀明，宮崎茂次：“自律型製造装置モデルによる総利益最大化バックワード・フォワード・スケジューリング”，日本生産管理学会論文誌，Vol.16, No.2, (2010.3), pp.25-36
- [5] 柏原秀明，宮崎茂次：“複数の自律型製造装置モデルによる総利益最大化バックワード・フォワード・スケジューリング -自律型製造装置モデルによる利益最大化を考慮した生産効率化の一提案-”，日本生産管理学会論文誌，Vol.18, No.1, (2011.9), pp.178-183
- [6] Kashihara, H.：“System for and method of managing jobs”，United States Patent, No.6,571,147 (Registered: May 27, 2003)
- [7] 富士ゼロックス株式会社：“DocuColor 8000AP, Digital Press”，  
[http://www.fujixerox.co.jp/company/news/release/2007/1127\\_dc8000ap.html](http://www.fujixerox.co.jp/company/news/release/2007/1127_dc8000ap.html)
- [8] 財団法人 経済調査会：“印刷料金2008年度版”(2008)
- [9] プロトラブズ合同会社  
日本法人HP : <http://www.protomold.jp/>  
見積HP : <http://www.protomold.jp/WhatIsAProtoQuote.aspx>
- [10] 株式会社森精機製作所  
HP : <http://www.moriseiki.com/japanese/index.html>  
製品情報 : <http://www.moriseiki.com/japanese/products/index.html>  
NTXシリーズ : [http://www.moriseiki.com/japanese/products/multi/01/ntx\\_index.html](http://www.moriseiki.com/japanese/products/multi/01/ntx_index.html)