

HDD (Hard Disc Drive) 組立における 生産計画の最適化方式

細田 順子, 野本 多津

HDD (Hard Disc Drive) は、磁気ディスクや磁気ヘッドなど複数の部品を組合せて製造される。同一仕様の部品が複数のベンダから提供されており、様々なパターンにより製品を生産できる。製品は、VMI (Vendor Managed Inventory) により顧客へ提供しており、顧客倉庫の在庫水準を維持するために短サイクルで生産計画を見直す必要がある。しかし、部品ベンダの供給能力など数十万に及ぶ制約を全て考慮して、人手により短期間で生産パターンを決定することは困難である。そこで、納期遵守および製品在庫の適正化を目的関数として上記制約条件を多目的計画法に基づき定式化し、実行可能かつ最適な生産計画を算出する方式を考案し、業務へ適用した。

キーワード：生産計画，線形計画法，多目的計画法

1. 緒言

HDD (Hard Disc Drive) は、情報を格納する磁気ディスクと、情報を読み書きする磁気ヘッドなどの部品を組合せて製造され、VMI (Vendor Managed Inventory) [1]により顧客へ製品を提供される。HDDの部品は複数のベンダから提供されており、様々な組合せパターン (生産仕様) から同一仕様の製品を生産することができる。また、検査で不良となった製品は、不良原因に応じて部品交換を行う。これも生産パターンの一つとみなせば、一つの製品仕様を満たす生産パターンは最大数十種、合計で約2万種類に及ぶ。

VMIでは、ベンダが顧客倉庫を管理し、常に要求された在庫水準を維持することが求められている。このため、短サイクルで生産計画を見直し、不足のないように生産・補充を行う必要がある。ところが、人手により部品の在庫や部品ベンダの供給能力、工場の生産能力といった制約を同時に考慮して、短期間で生産パターンを決定することは困難である。そこで、製品在庫の適正化のために納期遅れ量の最小化と製品在庫の最小化を目的関数として、前記制約条件を多目的計画法[2, 3]に基づき定式化し、実行可能かつ最適な生産計画を計算する方式を考案し、業務へ適用した。

2. HDD 組立における生産計画

2.1 HDD 組立の特徴

HDDの構成を図1に示す。HDDは、情報を格納する磁気ディスクや情報を読み書きする磁気ヘッドなど、複数の部品から構成されている。図2に、HDDの生産工程を示す。

HDDを生産する際には、まず、部品組立工程にて、磁気ディスクや磁気ヘッドなどの各部品を生産する。次の総組立工程では、各部品を組合せてHDDを製造する。HDDの組立には数十 μm 程度の高い精度が要求されているため、精度不足により部品を破損することがある。そこで、製造したHDDを検査工程へ送り、不良部品のないことを確認する。

検査工程にて不良部品を見つけた場合には、不良部品を取り除き、再生産部品として総組立工程へ戻す。完成したHDDは製品在庫として保管され、VMI[1] (Vendor Managed Inventory) により顧客へ提供される。

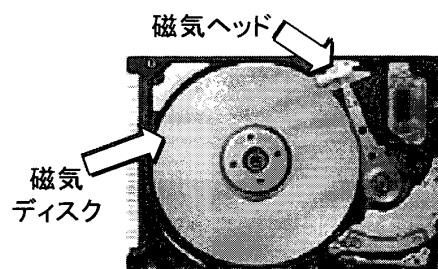


図1 HDD (Hard Disc Drive) の構成

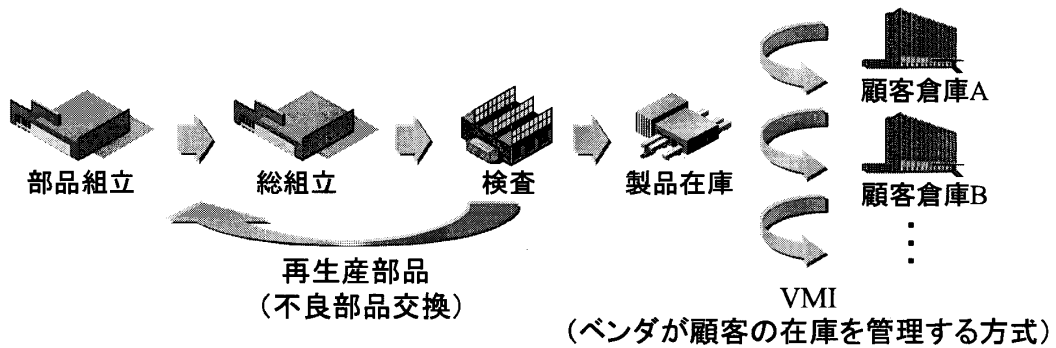


図2 HDDの生産工程

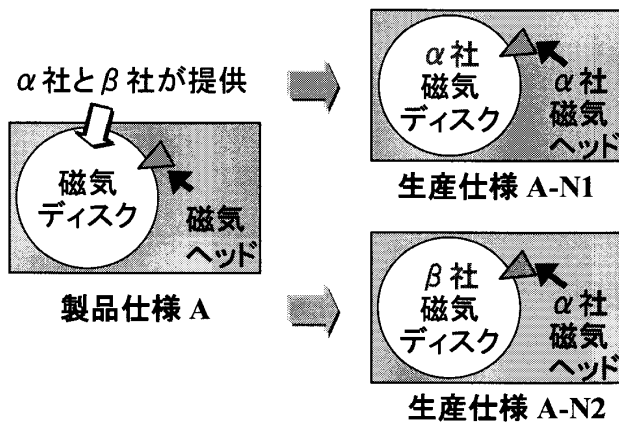


図3 製品仕様と生産仕様の関係

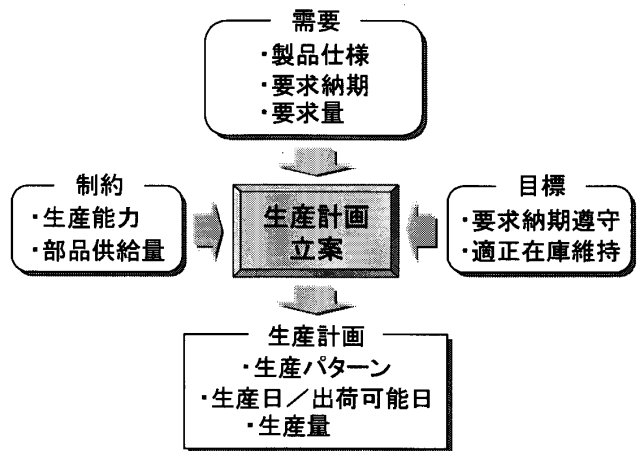


図4 HDD生産計画概要

なお、顧客倉庫では、HDDの製品仕様ごとに要求量・要求納期を管理している。一方で、工場では製品仕様をさらに詳細化した生産パターンごとに生産量・生産日を管理している。次の節では、製品仕様と生産パターンについて述べる。

2.2 HDD組立における製品仕様と生産パターン

HDDの部品は、同一仕様のものが複数のベンダから提供されているため、同一の製品仕様を満たす部品ベンダの組合せは、複数存在する。ところが、顧客ごとに認定しているベンダが異なるため、同一仕様の製品においても、使用した部品のベンダを識別する必要がある。工場では、部品の仕様と合わせてベンダを特定した製品仕様を生産仕様と呼び、生産計画作成の基礎データとしている。

一例として、図3に示すような、α社とβ社が提供する同一仕様の磁気ディスクを使用する、製品仕様Aについて考える。α社磁気ディスクとα社磁気ヘッドを組合せた生産仕様をA-N1とし、β社磁気ディスクとα社磁気ヘッドを組合せた生産仕様をA-N2とすると、生産仕様A-N1、A-N2は共に製品仕様Aを満たす。

また、検査で不良となった製品は、不良原因に応じ

て部品を交換する。不良部品を取り外した再生産部品と交換する部品の組合せにより、製品仕様を満たす製品を作ることもできる。再生産部品を使用する生産方法と生産仕様を合わせて生産パターンと呼ぶ。一つの製品仕様を満たす生産パターンは最大数十種、合計で約2万種類に及ぶため、顧客倉庫からの製品仕様の要求に対して、適切な生産パターンを選択して生産する必要がある。

2.3 HDD組立における生産計画

HDD生産計画では、製品仕様別に与えられた要求量・要求納期から、生産パターンとその生産量・生産日を決定する。このとき、ベンダの部品供給能力や工場の生産能力の範囲内で実行できる計画でなければならない。部品供給能力や生産能力が不足して納期に間に合わない場合には、生産日・生産量と共に出荷可能日を決定する。また、企業経営の観点から、要求納期を遵守しつつ、適正な製品在庫を維持することも求められる(図4)。

ところが、部品供給能力のみを考慮した場合でも、部品種別かつ計画日別に能力を超えないように計算する必要があり、制約の数は数十万にも及ぶ。このため、

人手により全ての制約を同時に考慮して生産パターンを決定することは困難であり、多大な計算時間が必要となる。短サイクルで生産計画を見直すためには、計算機による支援が不可欠である。

そこで、これらの制約を線形方程式として表すことができる点に着目し、納期遵守および製品在庫の適正化を目的関数として、上記制約条件を多目的計画法[2, 3]に基づき定式化し、実行可能かつ最適な生産計画を算出する HDD 生産計画の最適化方式を考案した。

3. HDD 組立における生産計画の最適化

3.1 生産計画最適化の考え方

本方式では、計画期間 $1, 2, \dots, t, \dots, T$ における製品仕様の要求量・要求納期に対し、生産量、製品構成、部品供給量、生産能力の四つの制約を満たすように、生産パターンとその生産量・生産日を計算する。なお、納期遵守の最大化および製品在庫の最小化を生産計画の最適性として定義した。

以下、各制約について述べる (図 5)。

生産量制約

製品仕様の要求量・要求納期を満たすように、製品仕様を満たす生産パターンとその生産量・生産日を決する。要求納期より前に生産する前倒し生産や、要求納期より後に生産する納期遅れ生産も可能とする。

製品構成制約

生産パターンの生産量と、生産パターン 1 単位を生産するために必要な部品量から、生産日に必要な総部品量を算出する。なお、製品の組立てには、生産リードタイムだけの期間を要するものとする。

部品供給量制約

部品の供給量は、部品ベンダの供給能力の範囲内で決定する。

生産能力制約

工場で組立てる製品量は、工場の保有する生産能力の範囲内で決定する。

次節では、制約条件と目的関数の具体的なモデルを示す。

3.2 生産計画最適化におけるモデル

生産量制約

製品仕様 f を満たす生産パターンの集合を I_f とする。生産パターン $i \in I_f$ の t 期生産量を $x_{i,t}$ とおくと、製品仕様と生産パターンとの関係は、

$$D_{f,t} + b_{f,t-1}^+ - \sum_{i \in I_f} x_{i,t} - b_{f,t-1}^- = b_{f,t}^+ - b_{f,t}^- \quad (1)$$

と表せる。ここで、定数 $D_{f,t}$ は t 期の製品仕様 f の要求量、変数 $b_{f,t}^+$ は t 期の納期遅れ量、 $b_{f,t}^-$ は t 期の前倒し生産量を表す。

製品構成制約

生産パターン i を構成する部品 j の構成制約は、部品 j の t 期必要量を $y_{j,t}$ とすると、

$$y_{j,t} = \sum_i BM_{i,j} \cdot x_{i,t+LT_i} \quad (2)$$

となる。ここで、定数 $BM_{i,j}$ は生産パターン i 1 単位あたりの部品 j 必要量、定数 LT_i は生産パターン i の生産リードタイムを表す。なお、部品 j がさらに複数の部品から構成される場合にも、式(2)と同様の形式で記述できる。

部品供給量制約

部品 j の供給可能量制約は、

$$\sum_{k=1}^t y_{j,k} \leq \sum_{k=1}^t R_{j,k} \quad (3)$$

と表せる。ここで、定数 $R_{j,k}$ は t 期における部品 j の供給可能量を表す。

生産能力制約

第 t 期の工程 p の生産能力制約は、工程 p で生産する生産仕様の集合を I^p とすると、

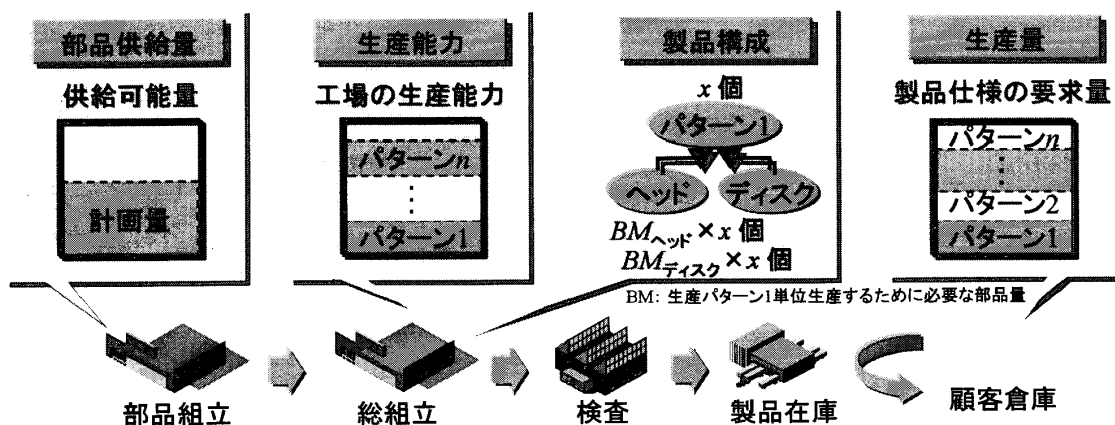


図 5 HDD 生産計画の制約条件

$$C_t^p \geq \sum_{i \in I^p} \{S_i^p \cdot x_{i,t}\} \quad (4)$$

となる。ここで、定数 C_t^p は t 期において工程 p が保有する生産能力を、定数 S_i^p は生産パターン i を工程 p で1単位生産するのに必要な生産能力を表す。

目的関数

納期遅れ量の最小化および製品在庫量の最小化を実現するために、変数 $b_{f,t}^+$, $b_{f,t}^-$ の線形加重和をとり、目的関数を

$$\min \sum_f \sum_t \{\omega_{f,t}^+ b_{f,t}^+ + \omega_{f,t}^- b_{f,t}^-\} \quad (5)$$

とする。

4. HDD 生産計画業務への適用

4.1 HDD 生産計画業務

HDD 生産計画は週に一度見直されており、1週間の計画立案業務の流れは図6のようになっている。

第 n 日に、販売部門では製品仕様ごとに要求量・要求納期を入力する。入力された需要に対して、第 $n+1$ 日に製造部門で生産計画を作成し、販売部門へ提示する。販売部門では製造部門が提示した出荷可能日を確認し、必要に応じて出荷可能日の変更を製造部門へ申し入れる。販売部門の変更要求を受けて、製造部門では生産能力や部品の供給能力を調整し、再度、生産計画を作成する。このような変更要求と計画修正を繰り返し、最終的に販売部門と製造部門の合意の基に、生産計画を確定する。確定した生産計画に基づいて、製造部門では第 $n+2$ 日に投入計画を作成し、部品の調達や製品の組立を開始する。

このように、HDD 生産計画立案業務では、生産計画の作成から数度の修正を経て確定するまでを、1日以内で行わなければならない。

ところが、約2万種類の生産パターンを有する2ヶ月分の生産計画に前節のモデルを適用したところ、変数400万個、制約式200万個、非ゼロ数800万個の大規模問題となり、計算に7時間（CPU：Pentium 4 2.0 GHz）を要した。生産計画を確定するためには販売部門の変更要求に基づいて生産能力などを調整し、

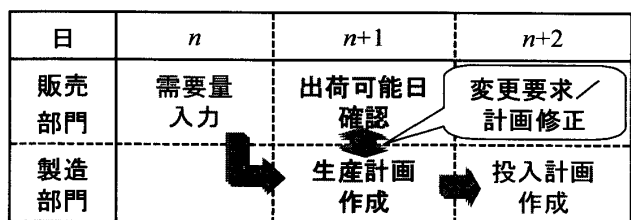


図6 HDD 生産計画業務フロー

再度計算を行うことがあるため、一度の計算で7時間も要しては、業務で使用することはできない。

そこで、問題規模の縮小という観点から本方式の適用方法を見直した。

4.2 業務適用上の工夫

これまでの人手による生産計画を調査したところ、部品在庫を削減するために再生産部品を優先的に使用していたことが判明した。

そこで、本方式を適用する際にもこのルールを取り込むこととした。再生産部品を優先的に利用する最適化方式では、次の三つのステップにより生産計画を立案する（図7）。

1. 再生産部品の生産パターン生産量の決定

再生産部品を使用する生産パターンだけを対象として、前章のモデルで式(1)を

$$D_{f,t} - \sum_{i \in I_f} x_{i,t} - b_{f,t-1}^- = b_{f,t}^+ - b_{f,t}^- \quad (6)$$

に置き換えた問題を解き、要求納期に間に合う要求量に対して生産パターンと生産量・生産日を決定する。

2. 新規部品の生産パターン生産量の決定

再生産部品だけでは要求納期を満たせなかった量 $b_{f,t}^-$ を要求量 $D_{f,t}$ に代入する。新規部品を使用する生産パターンのみを対象にして、ステップ1と同様の問題を解く。新規部品を使用することにより、要求納期に間に合う要求量に対して、生産パターンと生産量・生産日を決定する。

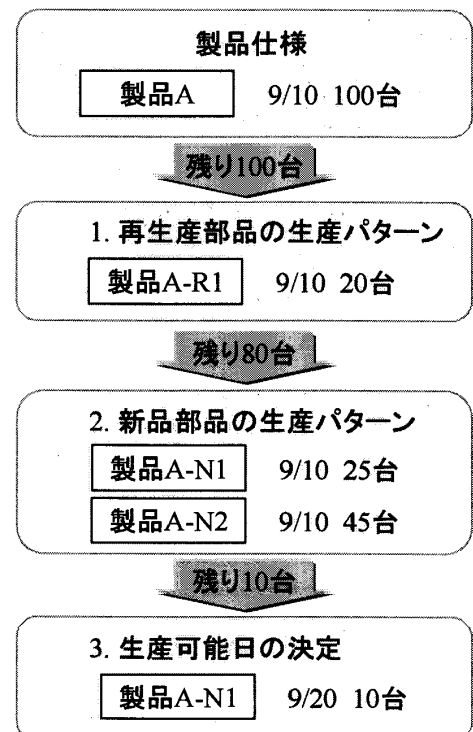


図7 生産計画業務における運用手順

製品仕様	出荷元シブコード	要求日	数量	生産パターン	比率	出荷数	在庫数	生産数	出荷可能日	出荷可能数
HDD-B	SHIPPING-AREA	2002/06/31	739	HDD-B-N2	3.0	0	24	---	---	9
HDD-C	SHIPPING-AREA	2002/06/31	732	HDD-C-N1	100.0	0	1,723	---	---	9
HDD-D	SHIPPING-AREA	2002/06/31	1,846	HDD-D-N1	0.3	0	2	---	---	0
HDD-D	SHIPPING-AREA	2002/09/14	1,046	HDD-D-N2	16.0	0	295	---	---	0
HDD-E	SHIPPING-AREA	2002/08/29	2,690	HDD-E-R1	0.1	0	2	---	---	3
HDD-E	SHIPPING-AREA	2002/08/29	2,690	HDD-E-N1	23.4	0	---	2002/08/31	---	3
HDD-E	SHIPPING-AREA	2002/08/29	2,690	HDD-E-N2	42.1	0	1,135	---	---	3
HDD-E	SHIPPING-AREA	2002/08/29	2,690	HDD-E-N3	0.1	0	---	---	---	0
HDD-E	SHIPPING-AREA	2002/08/29	2,690	HDD-E-N4	34.3	0	---	---	---	0

図8 生産計画最適化システムの画面例

3. 納期遅れの出荷可能日決定

新規部品を使用しても納期遅れとなる量 $b_{f,t}$ を要求量 $D_{f,t}$ に代入する。全ての生産パターンを対象として前節のモデルを解き、納期遅れとなる要求量の生産パターンと生産量・生産日および出荷可能日を決定する。

以上のように問題を分割することによって、各ステップの問題規模は元の問題の2~6割程度となり、ステップ1~ステップ3を1時間で実行できた。なお、問題を分割したことによる目的関数値の劣化は実用上、問題のない範囲であった。

本方式を実装した生産計画最適化システムの画面例を図8に示す。図8では、左半分では製品仕様の要求量・要求納期を示し、対応する生産パターンと生産量・生産日を右半分に示している。納期遅れが発生する分については、合わせて出荷可能日を示している。このように、一つの画面で三つのステップの結果を表示することにより、計画立案者が生産パターン別の生産量や納期遅れ量を簡単に把握できるようにした。

本方式を用いた生産計画業務は2003年4月現在一

部稼動中であり、短サイクルでの計画業務を実現できる見通しを得ている。

5. 結言

HDDの生産計画立案業務において、製品仕様の要求量・要求納期に対し、部品の供給能力、生産能力等の制約条件の下で、生産パターンごとに生産量・生産日を計算する方式を考案した。本方式を、業務の観点から三つの問題に分割して適用することで、一つの問題として解いた場合と比較して処理時間は約7分の1となり、週次のHDD計画立案業務へ適用できる見通しを得た。

参考文献

- [1] 福田拓生, 犬田真一:「図解 IT時代の在庫管理の基本と実務」, すばる舎, (2001).
- [2] 中山弘隆, 谷野哲三:「多目的計画法の理論と応用」, コロナ社, (1994).
- [3] 伏見多美雄, 福川忠昭, 山口俊和:「経営の多目標計画」, 森北出版, (1987).