

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-255925

(P2001-255925A)

(43) 公開日 平成13年9月21日 (2001.9.21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 5 B 19/418		G 0 5 B 19/418	Z 5 B 0 4 9
G 0 6 F 17/60	1 0 8	G 0 6 F 17/60	1 0 8 9 A 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2000-66886 (P2000-66886)	(71) 出願人	000005968 三菱化学株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目5番2号
(22) 出願日	平成12年3月10日 (2000.3.10)	(72) 発明者	朝倉 立行 岡山県倉敷市潮通3丁目10番地 三菱化学株式会社水島事業所内
		(72) 発明者	メティン トウルカイ 岡山県倉敷市潮通3丁目10番地 三菱化学株式会社水島事業所内
		(74) 代理人	100096231 弁理士 稲垣 清

最終頁に続く

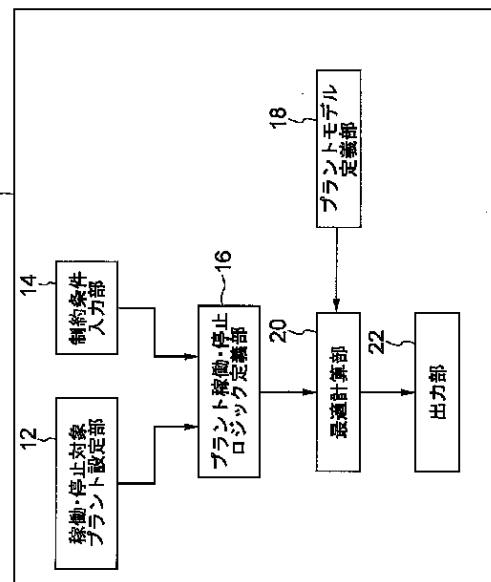
(54) 【発明の名称】 生産計画の最適化システム

(57) 【要約】

【課題】 経験、勘などに基づいて試行錯誤的に策定するのではなく、短時間で合理的に策定でき、しかも構成の複雑なプラント・コンプレックスにも適用できる、生産計画の最適化システムを提供する。

【解決手段】 本生産計画の最適化システム10は、プラント・コンプレックス内で生産計画の最適化の対象となるプラントが入力される対象プラント設定部12と、対象プラントに対する制約条件が入力される制約条件入力部14と、対象プラント設定部及び制約条件入力部から出力された情報に基づいて、対象プラントの運転中止の必要性の検討を含めた生産計画問題を数理計画問題として定式化するロジック定義部16と、原単位式、マテリアルバランス式等を数理計画モデルとして定式化するプラントモデル定義部18と、ロジック定義部16及びプラントモデル定義部18で定式化された数理計画問題モデルに従って計算して、所要生産コストが最小になるように、生産計画を最適化する最適化計算部20と、計算結果を出力する出力部22とを備える。

10 実施形態例の生産計画の最適化システム



【特許請求の範囲】

【請求項1】 相互に関連する複数個のプラントを有するプラント・コンプレックスの生産計画を策定するに当たり、所与の制約条件の下で、少なくともいずれかのプラントの運転中止の必要性の検討を含めて、所要生産コストが最小になるように、プラント・コンプレックスの生産計画を最適化する、生産計画の最適化システムであって、

(1) プラント・コンプレックス内で生産計画の対象となるプラントの識別符号が入力され、記憶される対象プラント設定部と、

(2) 対象プラントの運転の停止操作時に発生する不合格製品による損失額、及び下限生産量を含めて、対象プラントに対する制約条件が入力され、記憶される制約条件入力部と、

(3) 対象プラント設定部及び制約条件入力部からそれぞれ出力された対象プラント情報及び制約条件情報に基づいて、対象プラントの稼働・停止論理関係を数理計画問題として定式化するロジック定義部と、

(4) 原料及びユーティリティの単価、製品の単価等のコストデータを定義し、対象プラントのマテリアルバランス式及び複数個の対象プラント間のマテリアルバランス式を数理計画問題として定式化するプラントモデル定義部と、

(5) ロジック定義部、及びプラントモデル定義部からそれぞれ出力された、定式化稼働・停止論理関係、及び定式化マテリアルバランス式に基づいて、プラント・コンプレックス全体の生産計画を1つの数理計画問題として定式化し、定式化された数理計画問題モデルに従って計算を実行し、所要コストが最小になる生産計画を策定する最適化計算部と、

(6) 最適化計算部で得た結果を出力する出力部とを備えることを特徴とする生産計画の最適化システム。

【請求項2】 マテリアルバランス式が対象プラントの生産量の非線形関数として定義されているときには、プラントモデル定義部では、対象プラントの生産量の範囲を複数個の設定小範囲に区分し、設定小範囲毎にマテリアルバランス式を線形一次式で近似することを特徴とする請求項1に記載の生産計画の最適化システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、プラント・コンプレックスの生産計画の最適化システムに関し、更に詳細には、相互に関連する複数個のプラントを有するプラント・コンプレックスの生産計画を策定するに当たり、所与の制約条件の下で、少なくともいずれかのプラントの運転中止の必要性を含めて、所要生産コストが最小になるように、プラント・コンプレックスの生産計画を最適化する、生産計画の最適化システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】石油化学プラント、石油精製プラント、或いはこれらの混合プラント等は、相互に関連する複数個のプラントを有し、複数種の製品を生産する複雑なプラント・コンプレックスとして構成されている。プラント・コンプレックスは、例えば、図8に示すように、外部から供給された原料から2種類の第1の中間製品X、Yを製造する最も上流のプラントAと、プラントAで製造された種類Xの第1の中間製品を原料として第2の中間製品を製造するプラントBと、プラントBで製造された第2の中間製品を原料として最終製品Z₁を製造するプラントCと、プラントAで製造された種類Yの第1の中間製品を原料として最終製品Z₂を製造するプラントDとを備えている。更に、プラント・コンプレックスは、プラントA～Dからそれぞれ供給される燃料油又は燃料ガスを燃焼させ、蒸気を発生させてプラントA～Dに供給するボイラ、更にはタービンを駆動して発電し、電力を供給する自家発電装置等のユーティリティ設備を備えている。

【0003】現実には、プラントAからプラントCの間には、プラントBのみが介在するとは限らず、更に多数のプラントが介在していたり、更にはプラントAからプラントB、Dとは別の系列のプラント列に別の種類の第1の中間製品が供給され、別の種類の製品が生産されていたり、また、ユーティリティ設備として、プラントAからDに、それぞれ、燃料を供給する燃料供給装置、冷却水を供給する冷却水装置、不活性ガスを供給するガス供給装置等が設けてある例が多い。

【0004】プラント・コンプレックスは、相互に密接に関連したプラントの集合であるから、プラント・コンプレックスで種々の製品を生産する場合、プラント間で原料/製品、或いは原料/中間製品、中間製品/最終製品の流れ、量的な需要/供給関係等が、プラント間の制約条件として確立されている。そして、プラント・コンプレックス内のプラントを運転する際には、それら制約条件に基づいて、プラント・コンプレックス全体に対して綿密な生産計画を作成することが必要である。それは、若し、生産計画がないと、てんでのばらばらに個々のプラントを運転することになり、統制が取れた経済的な生産を持続することができなくなるからである。

【0005】プラント・コンプレックスの生産計画は、プラント・コンプレックスを構成する各プラントの生産能力、各プラントの製品の生産特性等を制約条件として、生産コストを最小にするように、即ち最適化するように策定される。ここで、各プラントの製品の生産特性とは、単位量の製品を生産するのに必要な原料、ユーティリティ等の量的関係を表すのものであって、以下、原単位式と呼ばれる関係式である。そして、従来から、プラント・コンプレックスの生産計画は、所与の原単位式を線形に近似して、数理計画法を適用することによ

り、作成されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来の生産計画の策定手法では、影響の大きな制約条件が生じた場合に、例えば使用可能な工業用水の量が大きく制限された場合に、各プラントを稼働させ続けるか、又は一旦運転中止させるかという問題を含めた生産計画の最適化は、制約条件の定式化が困難なために、数理計画法を適用することが難しいという問題があった。そして、このような制約条件が前提となる場合は、人が、予め、制約条件

を満足できるように、運転停止するプラントを適当に決定した上で、生産計画を策定していた。

【0007】つまり、従来の生産計画の策定手法の第1の問題点は、原料、ユーティリティ等の供給に制約がある場合、プラントを稼働させるか、停止させるかを含めた最適な生産計画の最適化計算が困難であることから、人が、経験、勘などに基づいて試行錯誤により、プラントの稼働・停止を含む生産計画を決定するしかなかったということである。

【0008】また、プラントの数が多く、構成が複雑なプラント・コンプレックスの生産計画の策定に数理計画法を適用したとき、生産計画問題が、整数変数混合型の数理計画問題となることから、第2の問題点は、現実的な計算時間内で整数変数混合型の数理計画問題を計算して、最適な生産計画を得ることが困難であるということである。その結果、策定した生産計画が、最適な生産計画、つまりコスト最小となる計画から逸脱した計画にならざるを得なかった。

【0009】更には、生産計画の最適化の計算精度が低いという第3の問題点である。プラント・コンプレックスの各プラントの原単位式は、図2に示すように、プラントの生産量に対して非線形的に変化することが多い。しかし、従来の生産計画の策定手法では、プラントの原単位式を最も頻度の高い生産量に基づいて単純な1本の直線で近似して、生産計画の最適化計算の所要時間を実用的な計算時間内に収めるようにしていた。その結果、近似させた原単位式の生産量からはずれた低い生産量の領域では、非線形関係式の近似精度が劣るために、実際のマテリアルバランスから逸脱してしまい、生産計画の最適化の計算精度が低下していた。

【0010】本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、経験、勘などに基づいて試行錯誤的に策定するのではなく、短時間で合理的に策定でき、しかも構成の複雑なプラント・コンプレックスにも適用できる、生産計画の最適化システムを提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明者は、プラント・コンプレックスの生産計画を数理計画問題として定式化することにより、生産計画を最適化することを着想し、研究の末に、本発明を発明するに到った。上記目的を達

成するために、上述の知見に基づいて、本発明に係る生産計画の最適化システムは、相互に関連する複数個のプラントを有するプラント・コンプレックスの生産計画を策定するに当たり、所与の制約条件の下で、少なくともいずれかのプラントの運転中止の必要性の検討を含めて、所要生産コストが最小になるように、プラント・コンプレックスの生産計画を最適化する、生産計画の最適化システムであって、(1)プラント・コンプレックス内で生産計画の対象となるプラントの識別符号が入力され、記憶される対象プラント設定部と、(2)対象プラントの運転の停止操作時に発生する不合格製品による損失額、及び下限生産量を含めて、対象プラントに対する制約条件が入力され、記憶される制約条件入力部と、(3)対象プラント設定部及び制約条件入力部からそれぞれ出力された対象プラント情報及び制約条件情報に基づいて、対象プラントの稼働・停止論理関係を数理計画問題として定式化するロジック定義部と、(4)原料及びユーティリティの単価、製品の単価等のコストデータを定義し、対象プラントのマテリアルバランス式及び複数個の対象プラント間のマテリアルバランス式を数理計画問題として定式化するプラントモデル定義部と、(5)ロジック定義部、及びプラントモデル定義部からそれぞれ出力された、定式化稼働・停止論理関係、及び定式化マテリアルバランス式に基づいて、プラント・コンプレックス全体の生産計画を1つの数理計画問題として定式化し、定式化された数理計画問題モデルに従って計算を実行し、所要コストが最小になる生産計画を策定する最適化計算部と、(6)最適化計算部で得た結果を出力する出力部とを備えることを特徴としている。

【0012】本発明の生産計画の最適化システムは、少なくともいずれかのプラントの運転を中止することが、所要生産コストを最小にする上で、必要かどうかをも検討して、生産計画を最適化する。つまり、数理計画問題モデルを目的関数として目的関数が最小になるように最適化計算部で計算する。本発明に係る生産計画の最適化システムでは、生産計画の対象となるプラントの識別符号、対象プラントに対する制約条件、及び対象プラント及び複数個の対象プラント間のマテリアルバランス式が、生産計画の最適化の制約条件として入力され、記憶される。尚、対象プラントに対する制約条件、及びマテリアルバランス式には、それらに係わるコスト情報も含まれる。また、マテリアルバランス式とは、原単位式、及び対象プラントの各製品と、所要原料及び所要ユーティリティ等との量的関係を言う。

【0013】本発明で、対象プラントの運転の停止操作時に発生する不合格製品とは、プラント停止操作時に、通常、発生する、製品としての規格に合わないために廃棄せざるを得ない不合格製品であって、その損害額が制約条件として入力される。対象プラントに対する稼働・停止論理関係とは、プラントの稼働、停止のパターンに

関する制約条件を関係式として表現したものであって、例えば、本日、対象プラントを停止し、次いで翌日稼働させ、更に翌々日再び停止するなどを繰り返して実施すると、設備にも負荷がかかり、効率が悪くなるので、一旦対象プラントを停止させると、連続して停止させておく等の制限を言う。また、下限生産量とは、これより小さい生産量では、プラントを稼働できない生産量の下限値を言う。

【0014】生産計画の最適化システムは、入力装置、記憶装置、演算装置、出力装置等を備える既知の構成のコンピュータを使用して形成することができる。対象プラント設定部、及び制約条件入力部は、キーボード等の入力装置と記憶装置とで構成され、ロジック定義部、プラントモデル定義部、及び最適化計算部は演算装置で構成され、出力部は、画面表示装置、プリンター等の出力装置で構成される。プラント・コンプレックス全体の生産計画が数理計画問題として定式化されれば、市販の最適化ソルバーなどを利用して、実際の最適化計算を最適化計算部で行うことができる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下に、実施形態例を挙げ、添付図面を参照して、本発明の実施の形態を具体的かつ詳細に説明する。

実施形態例

本実施形態例は、本発明に係る生産計画の最適化システムの実施形態の一例であって、図1は本実施形態例の生産計画の最適化システムの構成を示すブロック図である。本実施形態例の生産計画の最適化システム10は、図1に示すように、プラント・コンプレックス内で生産計画の最適化の対象となるプラント（以下、対象プラントと言う）の識別符号が入力され、記憶される対象プラント設定部12と、対象プラントに対する制約条件が入力され、記憶される制約条件入力部14と、対象プラン *

$$zsd(p, day)$$

$$yp(p, day - 1) - yp(p, day) \quad (1)$$

$$(zsd(p, day)) \quad 1 \quad (2)$$

$$zsu(p, day)$$

$$yp(p, day) - yp(p, day - 1) \quad (3)$$

$$(zsu(p, day)) \quad 1 \quad (4)$$

$$zsd(p, day) + zsu(p, day) \quad 1 \quad (5)$$

$$zsd(p, day) + yp(p, day) \quad 1 \quad (6)$$

$$zsd(p, day) - yp(p, day - 1) \quad 0 \quad (7)$$

$$zsu(p, day) - yp(p, day) \quad 0 \quad (8)$$

$$zsu(p, day) + yp(p, day - 1) \quad 1 \quad (9)$$

(zsd(p, day))及び(zsu(p, day))は、それぞれ、プラントp毎に、zsd(p, day)及びzsu(p, day)を加算したものである。

【0020】ここで、インデックスのp及びdayは、以下のように定義されている。

* ト設定部12及び制約条件入力部14から出力された情報に基づいて、対象プラントの運転中止の必要性の検討を含めた生産計画問題を数理計画問題として定式化するロジック定義部16と、製品とユーティリティ間等の関係を規定する原単位式、マテリアルバランス式等を数理計画モデルとして定式化するプラントモデル定義部18と、ロジック定義部16及びプラントモデル定義部18で定式化された数理計画問題モデルに従って計算して、所要生産コストが最小になるように、生産計画を最適化する最適化計算部20と、最適化計算部20で得た計算結果を出力する出力部22とを備えている。

【0016】プラント設定部12では、プラント・コンプレックス内で生産計画最適化の対象となる対象プラントが、入力され、記憶される。尚、入力する際には、プラント・コンプレックス内の全てのプラントを対象プラントとすることもできるし、一部のプラントだけを対象プラントとすることもできる。

【0017】制約条件入力部14には、対象プラント設定部12で指定された対象プラントの制約条件が入力される。制約条件とは、例えば対象プラントのプラント停止時に要するロス（損失）、プラントを稼働するときの下限生産量などの制約条件である。

【0018】ロジック定義部16は、対象プラント設定部12及び制約条件入力部14からそれぞれ出力された対象プラント情報及び制約条件情報に基づいて、対象プラントの稼働・停止の必要性を検討する生産計画問題を数理計画問題として以下のように定式化する。ここでは、簡単にするために、一度運転停止させたプラントは、運転停止した以降の生産計画の対象期間中、停止させたままにする場合を例にして、以下のように、生産計画問題を数理計画問題として定式化する。

【0019】

p：プラントの識別番号

day：生産計画計算対象の各日

zsd(p, day)は、プラントpがdayの日にプラント停止されるのであれば、つまり前日まで稼働していて、この日から停止されるのであれば1、そうでなければ0となる整数変数である。yp(p, day)

は、プラント p が day の日に停止していれば 0、稼働していれば 1 となる整数変数である。 $zsu(p, day)$ は、プラント p が day の日にプラント稼働開始されるのであれば、つまり前日までは停止していて、この日から稼働されるのであれば 1、そうでなければ 0 となる整数変数である。

【0021】プラントモデル定義部 18 は、対象プラントの材料バランス式、及び複数個の対象プラント *

$$\begin{aligned} & ((r, p, m, day) \times x(p, m, day)) \\ & = b(r, day) \end{aligned}$$

ここで、

r : 各材料バランス式の識別番号

p : 各プラントの識別番号

m : 生産又は消費される、製品、ユーティリティ等の識別番号

day : 生産計画計算対象の各日

$((p, m, day) \times x(p, m, day))$ は、各 r (材料バランス式) 毎に、かつ各 day 毎に、各式の係数 $x(p, m, day)$ が 0 でない $x(p, m, day)$ x_{min} $x(p, m, day)$ x_{max}

x_{max} : $xU(p, m, day)$

x_{min} : $xL(p, m, day)$

(11) 式中、 x_{min} 、すなわち $xL(p, m, day)$ は各変数 x の下限値、及び x_{max} 、すなわち $xU(p, m, day)$ は各変数 x の上限値を表す。

【0024】ここで、インデックスの p 、 m 、 day は以下のように定義されている。

p : プラントの識別番号

m : 製品、ユーティリティ等の生産、消費されるものの識別番号

day : 生産計画計算対象の各日

は、各プラントの原単位式、各製品、ユーティリティ間の流れの結合関係式等を表すそれぞれの式の係数である。 x は、各製品の生産量、原料消費量、ユーティリティ消費量等の最適な生産計画によって求められる変数である。 b は、各プラントの原単位式、各製品、ユーティリティ間の流れの結合関係式等における定数項を表す。

【0025】最適化計算部 20 は、ロジック定義部 18 で定式化された関係式、及びプラントモデル定義部 16 で定式化された関係式を結合し、結合した全体をプラント・コンプレックスの生産計画の 1 つの数理計画問題モデルとして定義し、最適化計算を実施する。最適化計算では、数理計画問題モデルに従って数理計画問題を計算して、原料、燃料購入コスト等の総生産コストが最小となるように生産計画を決定する。実際の最適化計算は、生産計画を数理計画問題として定式化すれば、市販の最適化ソフト等を利用することにより行うことができる。

【0026】出力部 22 は、最適化計算部 20 で得られた最適な生産計画をユーザが見やすいように、所定のフォーマットに従って、各対象プラントの各日毎の製品の

* 間の材料バランス式を数理計画問題として定式化する。これは一般に広く知られている方法であり、1 次式の数理計画問題として定式化されておれば良い。ここで、材料バランス式とは、原単位式、及び対象プラントの各製品と、所要原料及び所要ユーティリティ等との量的関係を言う。

【0022】例えば、次に数理計画問題として定式化した例を示す。

$$(10)$$

$x(p, m, day)$ を加算したものである。すなわち、式 (10) は、各プラントの原単位式、各製品、ユーティリティ間の流れの結合関係式等から構成される、プラント・コンプレックス全体の各製品、ユーティリティ等の材料バランスを表している。 $b(r, day)$ は、各対象プラントの原単位式、各製品、ユーティリティ間の流れの結合関係式等における定数項を表す。

【0023】

$$(11)$$

生産計画表、各日の必要原料量、燃料量一覧表などを表示する。そして、プラント・コンプレックス内のプラントを運転する際、出力部 22 で出力された最適な生産計画に基づき、プラントの生産計画、原料量、燃料量などの供給計画を実行する、つまり各プラントの各日の実際の運転を行う。

【0027】実施形態例 2

本実施形態例は、本発明に係る生産計画の最適化システムの実施形態の別の例である。本実施形態例では、原単位式を折線近似により近似させることにより、最適化の計算精度を向上させている。ここで、図 2 を参照して折線近似の手法を説明する。図 2 は、横軸に生産量を、縦軸にユーティリティの消費量を取り、原単位式 (プラントの生産特性) を生産量に応じて 3 分割してそれぞれを直線近似させた例を示すグラフである。一般には、プラントの生産量が増加するにつれて、プラントの生産効率が高くなるので、原単位式は、通常、図 2 の細実線で示すように、生産量の非線形関数として示される。そして、原単位式は、生産量の小さい区分 1 では接線の傾斜が急な曲線となり、区分 1 より生産量が大きな区分 2 では接線の傾斜が区分 1 より緩やかな曲線となり、区分 2 より生産量が大きな区分 3 では傾斜が区分 2 より緩やかなほぼ直線状となる。

【0028】従って、従来のように、区分 3 で適用した 1 本の直線状の原単位式を、図 2 の太実線で示すように、区分 1 から区分 3 の生産量の全範囲にわたる原単位式として援用して、最適化計算を行うと、生産計画の最適化の計算精度が低下する。そこで、本実施形態例では、区分 1、区分 2 及び区分 3 毎に、それぞれの区分の原単位式を表す曲線を直線近似することにより、つまり

図2の破線で示すように直線近似して、全体的に精度良い原単位式を求めている。以下では、このようにして、対象プラントの生産量の範囲を複数個の設定小範囲に区分し、設定小範囲毎にマテリアルバランス式を線形一次式で近似させて、原単位式の近似式とする手法を、折線近似法と呼ぶ。

【0029】ところで、生産量の区分毎に折線近似した原単位式に基づいて、数理計画法を適用し、線形計画問題として最適な生産計画を求める場合、どの区分を選択したかを示すために、新たに、0、1の整数変数を導入することが必要になる。しかし、大規模なプラントでは、広い範囲の生産量を小区分に区分し、区分毎に折線近似させた原単位式を設定すると、整数変数の数が膨大となり、現実的な計算時間内で計算して、最適な生産計画を得ることは難しい。

【0030】つまり、プラントの原単位式（生産特性）の近似精度を向上させるためには、生産量に応じて複数の区分に分割した折線で、原単位式及びプラントの各製品とユーティリティとの量的な関係を近似させることが好ましいものの、大規模なプラントの生産計画では、全ての折線状の原単位式を数理計画問題に導入して定式化することは、整数変数の数が膨大になり、現実的な計算時間では最適な生産計画を求めることができない。

【0031】そこで、本実施形態例のプラントモデル定義部16は、以下に示すような手法によって、大規模で*

$$x_0 \leq x \leq x_1 \text{ では、 } y = a_1 x + b_1 \quad (12)$$

$$x_1 \leq x \leq x_2 \text{ では、 } y = a_2 x + b_2 \quad (13)$$

$$x_2 \leq x \leq x_3 \text{ では、 } y = a_3 x + b_3 \quad (14)$$

$$x = x_1 \text{ では、 } a_1 x + b_1 = a_2 x + b_2 \quad (15)$$

$$x = x_2 \text{ では、 } a_2 x + b_2 = a_3 x + b_3 \quad (16)$$

ここで、 a_1 、 a_2 、 a_3 はそれぞれ x の係数、 b_1 、 b_2 、 b_3 はそれぞれ定数を表す。

【0034】(2)前処理

convex型の折線は、整数変数を導入することなく、次のようにして定式化できる。即ち、折線が、convex型であれば、つまり $a_1 < a_2 < a_3$ であれ

$$y = D_y(i) + b_1 \quad (17)$$

$$x = D_x(i) \quad (18)$$

$$x_0 \leq D_x(1) \leq x_1 \text{ では、 } D_y(1) = a_1 \times D_x(1) \quad (19)$$

$$x_0 \leq D_x(2) \leq x_2 \text{ では、 } D_y(2) = 0.2 \times D_x(2) \quad (20)$$

$$x_0 \leq D_x(3) \leq x_3 \text{ では、 } D_y(3) = 0.3 \times D_x(3) \quad (21)$$

【0035】ここで、

x_0 : (12)式の直線範囲の下限値

x_1 : (12)式の直線範囲の上限値

x_2 : (13)式の直線範囲の上限値

x_3 : (14)式の直線範囲の上限値

(15)式に示すように、(12)式の折線及び(13)式の折線は $x = x_1$ で連続しており、(16)式に

$$y = D_y(i) \quad (22)$$

$$x = D_x(i) \quad (23)$$

* 複雑なプラント・コンプレックスについても、短時間の計算によって最適な生産計画を求めることができるようにしている。即ち、本実施形態例では、次の手順によって整数変数の数を大幅に削減している。

【0032】(1)折線の分類

convex型の原単位式は、一般に知られているように、整数変数を必要とすることなく定式化できるので、先ず、原単位式の折線形状をconvex型とnonconvex型とに分類する。図3(a)及び(b)を参照して、convex型及びnonconvex型の折線を説明する。図3(a)及び図3(b)は、それぞれ、convex型の折線の例、及びnonconvex型の折線の例を示す。convex型の折線形状とは、図3(a)に示すように、各生産量区分の折線の傾きが、横軸の生産量の大きな生産量区分に移るに従って増大していき、かつ、各直線がそれぞれの生産量区分の境界で連続するものである。また、目的関数を最小化する場合、nonconvex型の折線とは、convex型の折線でない全ての折線を意味し、例えば図3(b)に示すように、各生産量区分の折線の傾きが、横軸の生産量の大きな生産量区分に移るに従って必ずしも増大してはいないものである。

【0033】ここで、次の(12)から(14)の一次式によってそれぞれ規定される3本の直線から構成される折線で表される原単位式を例として挙げる。

ば、変数 $D_x(i)$ 及び $D_y(i)$ を導入して、次のように定式化される。ここで、変数 $D_x(i)$ 及び $D_y(i)$ は、インデックスの i が1であれば(12)式、2であれば(13)式、3であれば(14)式に対応する変数であることを意味する。

示すように、(13)式の折線及び(14)式の折線は $x = x_2$ で連続している。

【0036】一方、(12)式~(14)式で表される折線がnonconvex型の折線である場合には、変数 $D_x(i)$ 、 $D_y(i)$ に加えて、整数変数 $z(i)$ を導入して、次のように定式化される。

$$\begin{aligned} & x \times z(1) \quad D \times (1) \quad x \times z(1) \text{では、} \\ & Dy(1) = a_1 \times Dx(1) + b_1 \times z(1) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} & x \times z(2) \quad D \times (2) \quad x \times z(2) \text{では、} \\ & Dy(2) = 0.2 \times Dx(2) + b_2 \times z(2) \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} & x \times z(3) \quad D \times (3) \quad x \times z(3) \text{では、} \\ & Dy(3) = 0.3 \times Dx(3) + b_3 \times z(3) \end{aligned} \quad (26)$$

$$z(i) = 1 \quad (27)$$

【0037】ここで、 $z(i)$ は各折線毎に定義される整数変数であり、(12)式が選択された場合は $z(1) = 1$ となり、 $z(2)$ 及び $z(3)$ は共に0となる。また、(13)式が選択された場合には、 $z(2) = 1$ となり、 $z(1)$ 及び $z(3)$ は共に0となる。更には、(14)式が選択された場合には、 $z(3) = 1$ となり、 $z(1)$ 及び $z(2)$ は共に0となる。本実施形態例では、上述のように前処理を行って、nonconvex型の折線についてのみ整数変数を導入している。

【0038】(3)計算手順

1度に計算すべき整数変数の数が増大すると、計算量が膨大になって計算時間が長時間となるので、その数を削減するために、本実施形態例では、図4に示す手順に従って、混合整数型線形計画問題モデルに基づいて計算し、所要生産コストが最小になる最適な生産計画を求めている。図4は整数変数の数を減少させる際の手順を示すフローチャートである。

【0039】先ず、図4に示すように、1回目の線形計画法の計算を行うステップ S_1 では、各折線状の原単位式を近似するに当たり、折線中の適当な直線を初期値として決定して、整数を含まない線形計画問題として計算し、最適な生産計画を求める。例えば図5は区分3の近似直線を選択した場合を示している。次いで、ステップ S_2 では、線形計画問題として計算した計算値が、選択された直線のどの区分にあるかをチェックし、計算した結果が予め選択した直線生産量区分に入っていれば、その直線は収束したと言い、その折線式について、選択した1本の直線として2回目の線形計画法の計算を実施する。

【0040】次に、ステップ S_3 では、計算した結果が、予め選択した直線生産量区分に入っていない場合は、収束していないとして、その折線式に関して計算結果の生産量に対応する直線を新たに選択して、再度、整数を含まない線形計画問題として2回目の線形計画法の計算を実施する。図6は、計算結果が最初に選択された区分3とは異なる区分2になったことを示している。こ

$$Pf(\text{day}) = 0.123 \times Phsm_b(\text{day}) + 2.3 \quad (28)$$

ここで、 Pf はボイラー燃料消費量を、 $Phsm_b$ はボイラー高圧蒸気発生量を表す。また、インデックスの day は生産計画対象の各日を表す。従って、(28)式は計算対象の日数分の式から構成されることとなり、計算対象が10日間であれば、式の数は10式となる。

*の場合は、図7に示すように、2回目の線形計画問題では、前回の計算結果である区分2の直線を選択して2回目の線形計画法の計算を行う。そして、各折線式の計算結果に関して、全ての折線式についてどの直線を選択するかが全て決定されたか、又は予め決められた回数だけ、上述の手順と同じ手順で繰り返す。

【0041】次に、ステップ S_4 では、収束していない折線に関してのみ直線選択のための整数変数を導入して、つまり収束している折線式について決定された直線を利用して、混合整数型線形計画問題として最適な生産計画を求める。これにより、整数変数の個数を著しく減少させることができるので、現実的な計算時間内に最適な生産計画を求めることができる。そして、プラント・コンプレックス内のプラントを運転する際、得た最適な生産計画を元に各プラントの各日の実際の運転を行う。

【0042】計算例

本計算例は、図9に示すような簡単な構成のプラント・コンプレックスに適用したものである。図9のプラント・コンプレックスは、燃料を消費して高圧蒸気を発生させるボイラー、高圧蒸気により駆動して発電し、電力を供給するタービンと発電機(タービン1、発電機1、タービン2、発電機2)、原料、及びタービンの抽気として発生する中圧蒸気、低圧蒸気、電力を消費することにより、製品を製造するプラント(プラントA、プラントB、プラントC)から構成される。

【0043】各機器の生産特性(原単位式)は、次のように定義されるとする。ここで、簡単にするために、原単位式の係数、定数項は各日によらず一定とし、各日において同じ係数を利用する。各式の係数、定数項は、実際には、生産計画の最適化システム10のユーザにより入力される値である。以下の(28)式~(19)式が、プラントモデル定義部18で定義されるプラントモデルとなる。ここでは10日間の生産計画を最適化するため(28)式~(19)式はそれぞれ各日毎に定義されるので合計19式 \times 10日=190式から構成されることとなる。

ボイラー

以下の式においても、インデックス day の意味は同様である。

【0044】タービン1、発電機1

タービン消費、抽気蒸気量と発電機出力の関係を表すタービンの発電原単位式は、以下のように定義される。

$$\begin{aligned} \text{Pow1}(\text{day}) &= 0.11 \times \text{Phsm_t1}(\text{day}) \\ &\quad - 0.22 \times \text{Pmsm_t1}(\text{day}) + 1.1 \end{aligned} \quad (29)$$

ここで、Pow1は発電機1の発電量を、Phsm_t1はタービン1の中圧蒸気抽気量を表す。
1はタービン1の高圧蒸気消費量、Pmsm_t1はタービン1の発電原単位式は、以下のように定義される。

タービンのマテリアルバランス式

$$\begin{aligned} \text{Phsm_t1}(\text{day}) &= \text{Pmsm_t1}(\text{day}) + \text{PLsm_t1}(\text{day}) \end{aligned} \quad (30)$$

ここで、PLsm_t1はタービン1の低圧蒸気抽気量を表す。タービン消費、抽気蒸気量と発電機出力の関係を表す。
タービン1の発電原単位式は、以下のように定義される。

【0046】タービン2、発電機2

$$\begin{aligned} \text{Pow2}(\text{day}) &= 0.15 \times \text{Phsm_t2}(\text{day}) \\ &\quad - 0.25 \times \text{Pmsm_t2}(\text{day}) + 1.6 \end{aligned} \quad (31)$$

ここで、Pow2は発電機2の発電量、Phsm_t2はタービン2の中圧蒸気抽気量を表す。
タービン2の高圧蒸気消費量、Pmsm_t2はタービン2の発電原単位式は、以下のように定義される。

タービンのマテリアルバランス式

$$\begin{aligned} \text{Phsm_t2}(\text{day}) &= \text{Pmsm_t2}(\text{day}) + \text{PLsm_t2}(\text{day}) \end{aligned} \quad (32)$$

ここで、PLsm_t2はタービン2の低圧蒸気抽気量を表す。稼働・停止対象プラントはプラントA、プラントB、プラントCである。

【0048】稼働・停止対象プラント

プラントAの原単位式

1) 原料消費量原単位式

$$\begin{aligned} \text{PrA}(\text{day}) &= 0.4 \times \text{PpA}(\text{day}) + 3 \times \text{yp_PA}(\text{day}) \end{aligned} \quad (33-1)$$

$$\begin{aligned} \text{PrA}(\text{day}) &= 0.5 \times \text{PpA}(\text{day}) + 2 \times \text{yp_PA}(\text{day}) \end{aligned} \quad (33-2)$$

尚、生産量が15以下の場合は、(33-1)式で原料消費量が計算され、15以上の場合は(33-2)式で原料消費量が計算される。ここで、PrAはプラントAの原料消費量、PpAは製品Aの生産量、またこの原単位式は生産量PpAにより2分割される折線式である。

また、yp_PA(day)はdayの日にプラントAが停止していれば0、稼働していれば1となる整数変数である。

【0049】

2) 中圧蒸気消費量原単位式

$$\begin{aligned} \text{PsmA}(\text{day}) &= 0.33 \times \text{PpA}(\text{day}) + 2.3 \times \text{yp_PA}(\text{day}) \end{aligned} \quad (34)$$

ここで、PsmAはプラントAの中圧蒸気消費量を表す。

3) 電力消費量原単位式

$$\begin{aligned} \text{PowA}(\text{day}) &= 1.2 \times \text{PpA}(\text{day}) + 2.1 \times \text{yp_PA}(\text{day}) \end{aligned} \quad (35)$$

ここで、PowAはプラントAの電力消費量を表す。【0050】

プラントBの原単位式

1) 原料消費量原単位式

$$\begin{aligned} \text{PrB}(\text{day}) &= 1.5 \times \text{PpB}(\text{day}) + 2.1 \times \text{yp_PB} \end{aligned} \quad (36)$$

ここで、PrBはプラントBの原料消費量を、PpBは製品Bの生産量を表す。

2) 中圧蒸気消費量原単位式

$$\text{PsmBM}(\text{day})$$

$$= 0.9 \times PpB(\text{day}) + 1.8 \times yp_PB(\text{day}) \quad (37)$$

ここで、PsmBMはプラントBの中圧蒸気消費量を表す。

3) 低圧蒸気消費量原単位式

$$PsmBL(\text{day}) = 0.8 \times PpB(\text{day}) + 3.4 \times yp_PB(\text{day}) \quad (38)$$

ここで、PsmBLはプラントBの低圧蒸気消費量を表す。

4) 電力消費量原単位式

$$PowB(\text{day}) = 0.9 \times PpB(\text{day}) + 0.2 \times yp_PB(\text{day}) \quad (39)$$

ここで、PowBはプラントBの電力消費量を表す。 【0051】

プラントCの原単位式

1) 原料消費量原単位式

$$PrC(\text{day}) = 0.14 \times PpC(\text{day}) + 5.3 \times yp_PC(\text{day}) \quad (40)$$

ここで、PrCはプラントCの原料消費量を、PpCは製品Cの生産量を表す。

2) 低圧蒸気消費量原単位式

$$PsmC(\text{day}) = 0.66 \times PpC(\text{day}) + 0.7 \times yp_PC(\text{day}) \quad (41)$$

ここで、PsmCはプラントCの低圧蒸気消費量を表す。

3) 電力消費量原単位式

$$PowC(\text{day}) = 0.8 \times PpC(\text{day}) + 2.4 \times yp_PC(\text{day}) \quad (42)$$

ここで、PowCはプラントCの電力消費量を表す。 【0052】

各機器間のマテリアルバランス式

1) ボイラーと各タービン間の高圧蒸気式

$$Phsm_b(\text{day}) = Phsm_t1(\text{day}) + Phsm_t2(\text{day}) \quad (43)$$

2) 全体の電力マテリアルバランス式

$$Pow1(\text{day}) + Pow2(\text{day}) = PowA(\text{day}) + PowB(\text{day}) + PowC(\text{day}) \quad (44)$$

3) 全体の中圧蒸気マテリアルバランス式

$$Pmsm_t1(\text{day}) + Pmsm_t2(\text{day}) = PsmA(\text{day}) + PsmBM(\text{day}) \quad (45)$$

4) 全体の低圧蒸気マテリアルバランス式

$$Pmsm_t1(\text{day}) + Pmsm_t2(\text{day}) = PsmBL(\text{day}) + PsmC(\text{day}) \quad (46)$$

ここでは、簡単なため生産計画は1月毎の10日間の最適化計算部20で計算する目的関数は、次のように定義される。

【0053】目的関数

$$\begin{aligned} \text{最小化：} & - PpA(\text{day}) \times PpA(\text{day}) \\ & - PpB(\text{day}) \times PpB(\text{day}) \\ & - PpC(\text{day}) \times PpC(\text{day}) \\ & + PrA(\text{day}) \times PrA(\text{day}) \\ & + PrB(\text{day}) \times PrB(\text{day}) \\ & + PrC(\text{day}) \times PrC(\text{day}) \\ & + Pf(\text{day}) \times Pf(\text{day}) \end{aligned} \quad (47)$$

ここで、PpAはプラントAの製品Aの単価、PpBはプラントBの製品Bの単価、PpCはプラントCの製品Cの単価を表す。また、PrAはプラントAの原料Aの単価、PrBはプラントBの原料Bの単価、PrCはプラントCの原料Cの単価、Pfはボイラー燃料の単価を表す。PpA、PpB、PpC、PrA、PrB、PrC、Pfの各単価はユーザにより予め入力される値である。(47)式の各項は、それぞれ各日毎に計算される

ので、(47)式の項の数は7項×10日=70個となる。

【0054】プラントモデルにおける入力データは(28)~(42)式の原単位式の各係数及び各原単位式の定数項、目的関数(47)式の各単価である。更に、制約条件として次のデータも入力される。ボイラー燃料の流量上下限、ボイラー発生高圧蒸気量上下限、各発電機の発電量上下限、各タービンの流入高圧蒸気量上下限、各タービン中圧蒸気抽気量上下限、各タービン低圧蒸気抽気量上下限、各プラント原料量上下限、プラントA及びプラントBの中圧蒸気消費量上下限、プラントB、プラントCの低圧蒸気消費量上下限值、各プラント電力消費量上下限值が入力される。

【0055】次に、稼働・停止対象プラント設定部にお*

$$zsd_PA(day) \\ yp_PA(day-1) - yp_PA(day) \quad (48)$$

$$zsd_PB(day) \\ yp_PB(day-1) - yp_PB(day) \quad (49)$$

$$zsd_PC(day) \\ yp_PC(day-1) - yp_PC(day) \quad (50)$$

ここで、インデックスのdayは生産計画計算対象の各日を表す。従って、(48)、(49)、(50)式はそれぞれ1日目から10日目までの10式から構成される。(48)~(50)式は3式×10日=30式から構成される。)

【0057】また、zsd_PA(day)はプラントAがdayの日にプラント停止されるのであれば、つまり前日までは稼働していて、この日から停止されるのであれば1、そうでなければ0となる整数変数である。zsd_PB(day)はプラントBがdayの日にプラント停止されるのであれば、つまり前日までは稼働して

$$zsd_PA(day) \quad 1 \quad (51)$$

$$zsd_PB(day) \quad 1 \quad (52)$$

$$zsd_PC(day) \quad 1 \quad (53)$$

ここで、zsd_PA(day)はdayが1日目から10日目までにわたりzsd_PA(day)を加算したものを表す。zsd_PB(day)はdayが1日目から10日目までにわたりzsd_PB(da

$$zsu_PA(day) \\ yp_PA(day) - yp_PA(day-1) \quad (54)$$

$$zsu_PB(day) \\ yp_PB(day) - yp_PB(day-1) \quad (55)$$

$$zsu_PC(day) \\ yp_PC(day) - yp_PC(day-1) \quad (56)$$

ここで、(54)式~(56)式はそれぞれ1日目から10日目までの10式から構成される。(54)式~(56)式は3式×10日=30式から構成される。)

【0060】zsu_PA(day)はプラントAがdayの日にプラント稼働開始されるのであれば、つまり

*いて稼働・停止対象とするプラントが設定される。ここでは、プラントA、プラントB、プラントCが対象と仮定する。制約条件入力部14には、各プラントの停止時のロス金額、プラントの生産量下限値が以下のように設定される。

$$\text{プラントAの停止ロス金額} = PAstop$$

$$\text{プラントBの停止ロス金額} = PBstop$$

$$\text{プラントCの停止ロス金額} = PCstop$$

$$\text{プラントAの製品Aの生産量下限} = PALow$$

$$10 \text{ プラントBの製品Bの生産量下限} = PBLow$$

$$\text{プラントCの製品Cの生産量下限} = PCLow$$

【0056】数理計画問題

プラントロジック定義部16は、以下のように、数理計画問題を定義する。

れば0となる整数変数である。そして、zsd_PC(day)はプラントCがdayの日にプラント停止されるのであれば、つまり前日までは稼働していて、この日から停止されるのであれば1、そうでなければ0となる整数変数である。また、yp_PA(day)はプラントAがdayの日に停止していれば0、稼働していれば1となる整数変数である。yp_PB(day)はプラントBがdayの日に停止していれば0、稼働していれば1となる整数変数である。同様に、yp_PC(day)はプラントCがdayの日に停止していれば0、稼働していれば1となる整数変数である。

【0058】

$$y) \text{ を加算したものを表す。同様にして } zsd_PC$$

$$(day) \text{ は } day \text{ が } 1 \text{ 日目から } 10 \text{ 日目までにわたり}$$

$$zsd_PC(day) \text{ を加算したものを表す。}$$

【0059】

【0059】

$$zsu_PB(day) \text{ はプラントBが } day \text{ の日にプラント稼働開始されるのであれば、つまり前日までは停止してあり、この日から稼働開始されるのであれば1、そうでなければ0となる整数変数である。}$$

$$zsu_PB(day) \text{ はプラントBが } day \text{ の日にプラント稼働開始されるのであれば、つまり前日までは停止してあり、この日から稼働開始されるのであれば1、}$$

$$zsu_PB(day) \text{ はプラントBが } day \text{ の日にプラント稼働開始されるのであれば、つまり前日までは停止してあり、この日から稼働開始されるのであれば1、}$$

【0059】

【0059】

そうでなければ0となる整数変数である。同様に $z s u_P C(d a y)$ はプラントCが $d a y$ の日にプラント稼働開始されるのであれば、つまり前日までは停止して *

$$z s u_P A(d a y) = 1 \quad (57)$$

$$z s u_P B(d a y) = 1 \quad (58)$$

$$z s u_P C(d a y) = 1 \quad (59)$$

ここで、 $z s u_P A(d a y)$ は $d a y$ が1日目から10日目までにわたり $z s u_P A(d a y)$ を加算したものを表す。 $z s u_P B(d a y)$ は $d a y$ が1日目から10日目までにわたり $z s u_P B(d a y)$ を加算したものを表す。

$$z s d_P A(d a y) + z s u_P A(d a y) = 1 \quad (60)$$

$$z s d_P B(d a y) + z s u_P B(d a y) = 1 \quad (61)$$

$$z s d_P C(d a y) + z s u_P C(d a y) = 1 \quad (62)$$

各式はプラントの停止と起動は同一日には起こらないことを意味している。ここで(60)式~(62)式はそれぞれ1日目から10日目までの10式から構成され

$$z s d_P A(d a y) + y p_P A(d a y) = 1 \quad (63)$$

$$z s d_P B(d a y) + y p_P B(d a y) = 1 \quad (64)$$

$$z s d_P C(d a y) + y p_P C(d a y) = 1 \quad (65)$$

各式は、プラントの停止日開始日(その日から停止する日)がプラント停止となることを意味する。例えば $z s d_P A$ が1となる日には $y p_P A$ は必ず0となることを意味する。ここで、(63)式~(64)式はそれ

$$z s d_P A(d a y) - y p_P A(d a y - 1) = 0 \quad (66)$$

$$z s d_P B(d a y) - y p_P B(d a y - 1) = 0 \quad (67)$$

$$z s d_P C(d a y) - y p_P C(d a y - 1) = 0 \quad (68)$$

各式は、プラントの停止開始日(その前日は必ず稼働していることを意味する。ここで、(66)式~(68)式はそれぞれ1日目から10日目までの10式から構成

$$z s u_P A(d a y) - y p_P A(d a y) = 0 \quad (69)$$

$$z s u_P B(d a y) - y p_P B(d a y) = 0 \quad (70)$$

$$z s u_P C(d a y) - y p_P C(d a y) = 0 \quad (71)$$

各式は、プラントの稼働開始日(前日まで停止でその日から稼働開始する日)が必ずプラント稼働していることを意味する。ここで、(69)式~(71)式はそれぞれ1日目から10日目までの10式から構成される。 *

$$z s u_P A(d a y) + y p_P A(d a y - 1) = 1 \quad (72)$$

$$z s u_P B(d a y) + y p_P B(d a y - 1) = 1 \quad (73)$$

$$z s u_P C(d a y) + y p_P C(d a y - 1) = 1 \quad (74)$$

各式はプラント起動開始日(その前日は必ずプラント停止していることを意味する。ここで、(72)式~(74)式はそれぞれ1日目から10日目までの10式から構成される。((72)式~(74)式は3式×10日 = 30式から構成される。)

【0066】以上からプラント稼働・停止ロジック定義部で定義される式は、合計で216式となる。変数は $z s u_P A(d a y)$ 、 $z s u_P B(d a y)$ 、 $z s$

$$P r A_L O(d a y) \times y p_P A(d a y)$$

$$P r A(d a y)$$

$$P r A_U P(d a y) \times y p_P A(d a y) \quad (75)$$

* おり、この日から稼働開始されるのであれば1、そうでなければ0となる整数変数である。

【0061】

$$(57)$$

$$(58)$$

$$(59)$$

を)を加算したものを表す。同様に $z s u_P C(d a y)$ は $d a y$ が1日目から10日目までにわたり $z s u_P C(d a y)$ を加算したものを表す。

【0062】

$$(60)$$

$$(61)$$

$$(62)$$

る。((60)式~(62)式は3式×10日 = 30式から構成される。)

【0063】

$$(63)$$

$$(64)$$

$$(65)$$

それ1日目から10日目までの10式から構成される。((63)式~(64)式は3式×10日 = 30式から構成される。)

【0064】

$$(66)$$

$$(67)$$

$$(68)$$

される。((66)式~(68)式は3式×10日 = 30式から構成される。)

【0065】

$$(69)$$

$$(70)$$

$$(71)$$

* ((69)式~(71)式は3式×10日 = 30式から構成される。)

【0066】

$$(72)$$

$$(73)$$

$$(74)$$

$u_P C(d a y)$ 、 $z s d_P A(d a y)$ 、 $z s d_P B(d a y)$ 、 $z s d_P C(d a y)$ 、 $y p_P A(d a y)$ 、 $y p_P B(d a y)$ 、 $y p_P C(d a y)$ の合計90変数となる。それぞれは、各日毎に定義される。

【0067】稼働・停止対象プラント関連の上下限值制約式が次のように定義される。

$$\begin{aligned}
 & PsmA_LO(day) \times yp_PA(day) \\
 & PsmA(day) \\
 & PsmA_UP(day) \times yp_PA(day) \quad (76) \\
 & PowA_LO(day) \times yp_PA(day) \\
 & PowA(day) \\
 & PowA_UP(day) \times yp_PA(day) \quad (77) \\
 & PrB_LO(day) \times yp_PB(day) \\
 & PrB(day) \\
 & PrB_UP(day) \times yp_PB(day) \quad (78)
 \end{aligned}$$

【0068】

10

$$\begin{aligned}
 & PsmBM_LO(day) \times yp_PB(day) \\
 & PsmBM(day) \\
 & PsmBM_UP(day) \times yp_PB(day) \quad (79) \\
 & PsmBL_LO(day) \times yp_PL(day) \\
 & PsmBL(day) \\
 & PsmBL_UP(day) \times yp_PB(day) \quad (80) \\
 & PowB_LO(day) \times yp_PB(day) \\
 & PowB(day) \\
 & PowB_UP(day) \times yp_PB(day) \quad (81) \\
 & PrC_LO(day) \times yp_PC(day) \\
 & PrC(day) \\
 & PrC_UP(day) \times yp_PC(day) \quad (82) \\
 & PsmC_LO(day) \times yp_PC(day) \\
 & PsmC(day) \\
 & PsmC_UP(day) \times yp_PC(day) \quad (83) \\
 & PowC_LO(day) \times yp_PC(day) \\
 & PowC(day) \\
 & PowC_UP(day) \times yp_PC(day) \quad (84)
 \end{aligned}$$

【0069】ここで、PrA_LO、PrA_UPはそれぞれプラントAの原料消費量下限、上限値であり、PsmA_LO、PsmA_UPはそれぞれプラントAの中圧蒸気消費量下限、上限値、PowA_LO、PowA_UPはそれぞれプラントAの電力消費量下限、上限値を表す。またPrB_LO、PrB_UPはそれぞれプラントBの原料消費量下限、上限値であり、PsmBM_LO、PsmBM_UPはそれぞれプラントBの中圧蒸気消費量下限、上限値であり、PsmBL_LO、PsmBL_UPはそれぞれプラントBの低圧蒸気消費量下限、上限値であり、PowB_LO、PowB_UPはそれぞれプラントBの電力消費量下限、上限値を表す。

PrC_LO、PrC_UPはそれぞれプラントCの原料消費量下限、上限値であり、PsmC_LO、PsmC_UPはそれぞれプラントCの低圧蒸気消費量下限、上限値、PowC_LO、PowC_UPはそれぞれプラントCの電力消費量下限、上限値を表す。

【0070】各式の上下限値は予めユーザが入力する。上述の(48)式~(57)式はそれぞれ計算対象期間(ここでは10日間)存在するので、合計で10式×10日間=100式から構成される。

【0071】目的関数
プラント稼働・停止ロジック定義部16に関する目的関数は次のように定義される。

$$\begin{aligned}
 & zsd_PA(day) \times PAstop + zsd_PB(day) \\
 & \times PBstop + zsd_PC(day) \times PCstop \quad (85)
 \end{aligned}$$

以上から、図9に示した簡単なプラントの混合整数線形計画問題は、次のように定式化される。目的関数(4

7)式と(58)式を考慮することにより)

$$\begin{aligned}
 & \text{最小化：} - PpA \times PpA - PpB \times PpB - PpC \times PpC \\
 & + PrA \times PrA + PrB \times PrB + PrC \times PrC + Pf \times Pf \\
 & + zsd_PA(day) \times PAstop \\
 & + zsd_PB(day) \times PBstop \\
 & + zsd_PC(day) \times PCstop
 \end{aligned}$$

【0072】制約条件

50 (28)式~(46)式および(21)式~(57)式

の合計406式から構成される。入力するデータは、(28)式~(42)式の各原単位式の係数および定数項、各変数の上下限值である。式の数が406式もありこれを手で計算することは不可能であるので通常は最適化計算用の市販ツールを利用して最適化計算を実施する。この例では計算結果として得られる結果は、次のようなものとなる。

- ・ボイラーでの各日の高圧蒸気発生量、燃料消費量
- ・各タービンでの各日の高圧蒸気消費量、中圧蒸気、低圧蒸気抽気量
- ・各発電機での各日の発電量
- ・各プラントの各日の製品生産量、原料消費量、中圧蒸気、低圧蒸気消費量
- ・目的関数の値

ここで最適化計算結果としてプラントが停止となった期間に関しては、そのプラントの製品生産量、原料消費量、中圧蒸気、低圧蒸気消費量は全て0となる。

【0073】表1及び表2は、それぞれ、この計算例で得た各プラント電力消費量一覧及び各プラント製品生産量を示す。この例ではプラントAの製品Aの生産量が計算対象初日から10日目までそれぞれ(25、25、25、20、20、20、10、10、22、22)、プラントBの製品Bの生産量が計算初日から10日目までそれぞれ(10、10、10、10、12、12、10、20、20、10)、プラントCの製品Cの生産量が計算対象初日から10日目までそれぞれ(30、30、15、15、15、15、29、0、0、0)となった場合を表している。プラントCは7日目から停止となっている。

【表1】
各プラント電力消費量一覧

日付	プラントA	プラントB	プラントC
1	32.1	9.2	26.4
2	32.1	9.2	26.4
3	32.1	9.2	14.4
4	26.1	9.2	14.4
5	26.1	11	14.4
6	26.1	11	14.4
7	14.1	9.2	25.6
8	14.1	18.2	0
9	28.5	18.2	0
10	28.5	9.2	0

【表2】

各プラント製品生産量

日付	プラントA	プラントB	プラントC
1	25	10	30
2	25	10	30
3	25	10	15
4	20	10	15
5	20	12	15
6	20	12	15
7	10	10	29
8	10	20	0
9	22	20	0
10	22	10	0

【0074】表1中のプラントAの各日の電力消費量は(35)式から次のように計算されている。

1日目： $1.2 \times 25 + 2.1 = 32.1$

2日目： $1.2 \times 25 + 2.1 = 32.1$

3日目： $1.2 \times 25 + 2.1 = 32.1$

4日目： $1.2 \times 20 + 2.1 = 26.1$

5日目： $1.2 \times 20 + 2.1 = 26.1$

6日目： $1.2 \times 20 + 2.1 = 26.1$

7日目： $1.2 \times 10 + 2.1 = 14.1$

8日目： $1.2 \times 10 + 2.1 = 14.1$

9日目： $1.2 \times 22 + 2.1 = 28.5$

10日目： $1.2 \times 22 + 2.1 = 28.5$

同様にしてプラントBの各日の電力消費量は(39)式から、プラントCの各日の電力消費量は(42)式から計算されている。

【0075】

【発明の効果】本発明によれば、プラント・コンプレックス全体の生産計画を1つの数理計画問題として定式化し、定式化された数理計画問題モデルに従って計算を実行し、所要コストが最小になる生産計画を策定することにより、プラント・コンプレックス内の各プラントの生産特性を精度良くかつ、1年365日を同時にかつ連続して考慮した日々の最適な生産計画を合理的かつ比較的短時間で策定することができる。また、あるプラントにトラブルが発生した時の対策の検討、プラントの能力増大の可否、プラントの新規建設等種々の問題を容易に検討することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態例の生産計画の最適化システムの構成を示すブロック図である。

【図2】生産特性を3分割にした区分毎に折線近似した例を示すグラフである。

【図3】図3(a)及び(b)は、それぞれ、convex型折線形状及びnonconvex型折線形状の例を示すグラフである。

【図4】整数変数の数を減少させる際の手順を示すフロ

ーチャートである。

【図5】区分3の折線を選択した場合を示すグラフである。

【図6】計算結果が折線の区分2になった場合を示すグラフである。

【図7】区分3の折線を選択した場合を示すグラフである。

【図8】プラント・コンプレックスの構成を示すブロック図である。

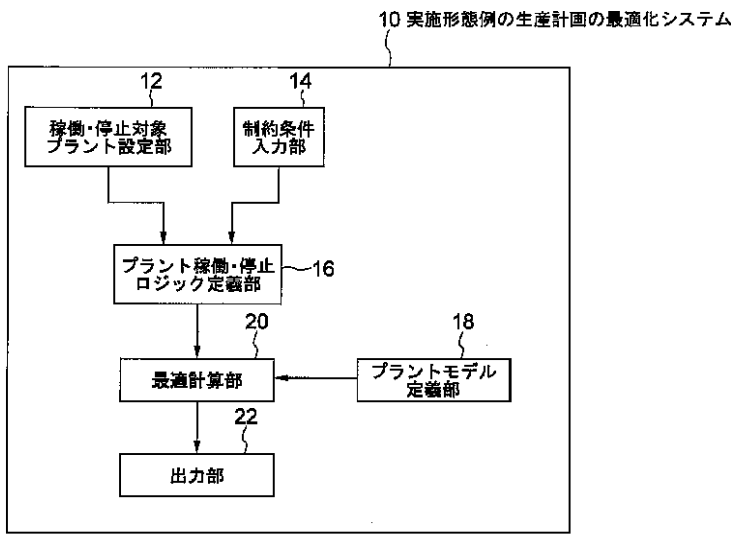
【図9】計算例のプラント・コンプレックスの構成を示す *10

*すブロック図である。

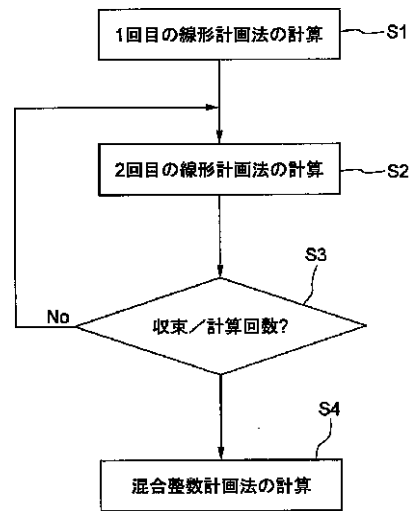
【符号の説明】

- 10 実施形態例の生産計画の最適化システム
- 12 対象プラント設定部
- 14 制約条件入力部
- 16 ロジック定義部
- 18 プラントモデル定義部
- 20 最適化計算部
- 22 出力部

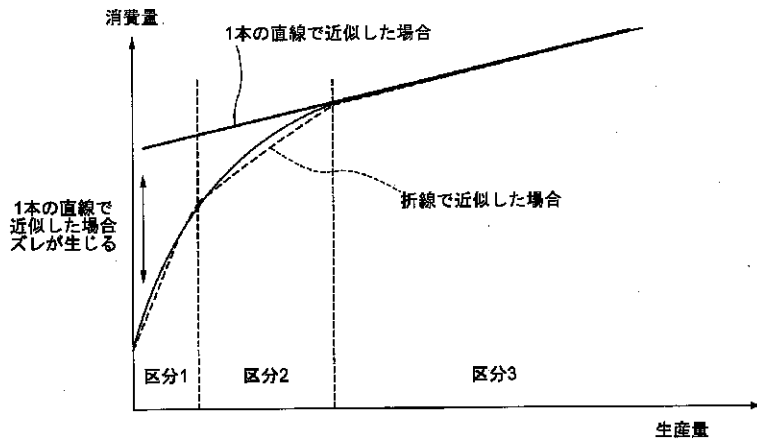
【図1】



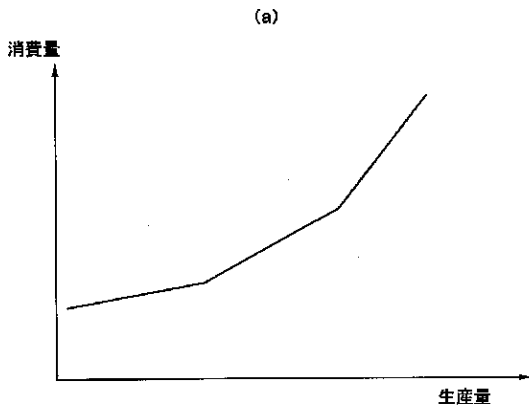
【図4】



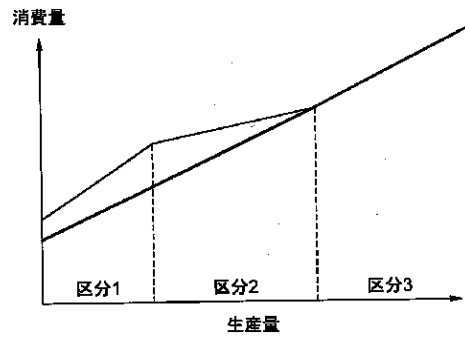
【図2】



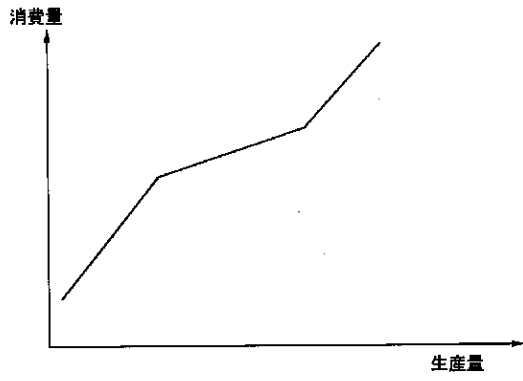
【図3】



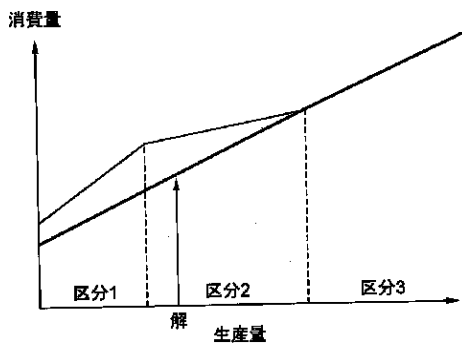
【図5】



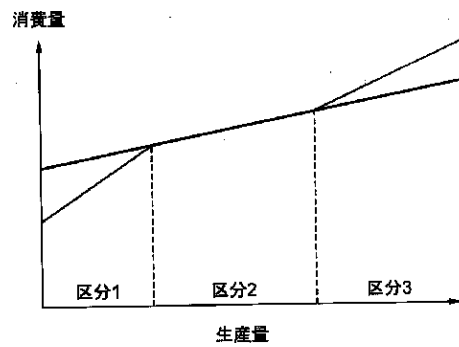
(b)



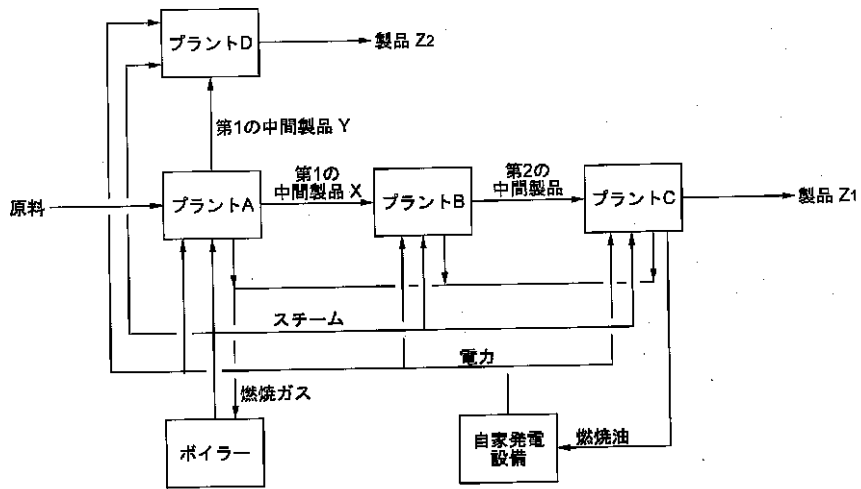
【図6】



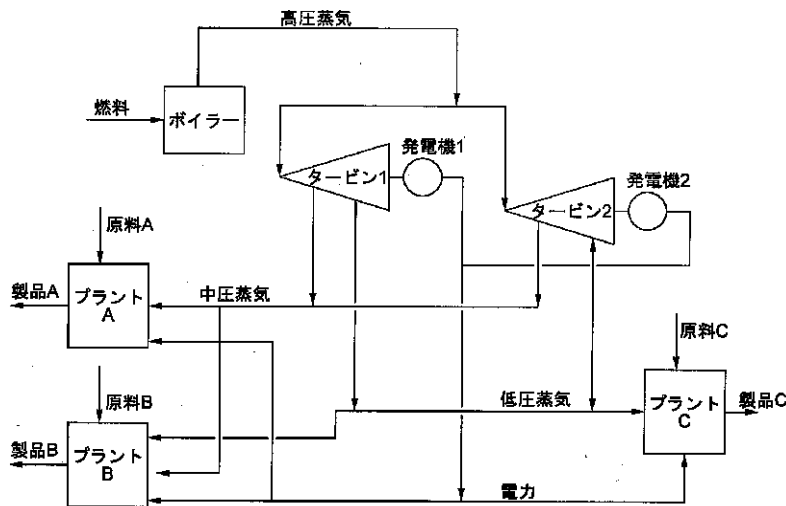
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 政岩 義久
 岡山県倉敷市潮通3丁目10番地 三菱化学
 株式会社水島事業所内

(72)発明者 大西 治佳
 岡山県倉敷市潮通3丁目10番地 三菱化学
 株式会社水島事業所内

(72)発明者 竹下 聡彦
 岡山県倉敷市潮通3丁目10番地 三菱化学
 株式会社水島事業所内

Fターム(参考) 5B049 AA04 AA06 BB07 CC11 CC21
 DD01 EE03 EE31 EE39 FF03
 9A001 BB02 BB03 BB04 GG07 HZ32
 JJ44 KK36 KK55