

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2010年11月11日(11.11.2010)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2010/128682 A1

- (51) 国際特許分類:  
C01C 1/04 (2006.01) C01B 21/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/057918
- (22) 国際出願日: 2010年4月28日(28.04.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
200910149706.3 2009年5月5日(05.05.2009) CN
- (72) 発明者: および
- (71) 出願人: 中村 徳彦 (NAKAMURA, Norihiko) [JP/JP]; 〒4110046 静岡県三島市芙蓉台3-8-14 Shizuoka (JP). 杉浦 繁貴 (SUGIURA, Shige-ki) [JP/JP]; 〒4110902 静岡県駿東郡清水町玉川169-7 Shizuoka (JP). 小畑 充生 (OBATA, Shusei) [JP/JP]; 〒4650087 愛知県名古屋市名東区名東本通4-31-802 Aichi (JP). 竹島 伸一

(TAKESHIMA, Shinichi) [JP/JP]; 〒4100801 静岡県沼津市大手町2-7-17 Shizuoka (JP). 中西治道 (NAKANISHI, Haruyuki) [JP/JP]; 〒4101121 静岡県裾野市茶畑1465-82 Shizuoka (JP). 飯田 陽介 (IIDA, Yosuke) [JP/JP]; 〒4101107 静岡県裾野市御宿1200メゾン東富士C407 Shizuoka (JP). 佐藤 彰倫 (SATO, Akinori) [JP/JP]; 〒4101107 静岡県裾野市御宿1200メゾン東富士A304 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 青木 篤, 外 (AOKI, Atsushi et al.); 〒1058423 東京都港区虎ノ門三丁目5番1号 虎ノ門37森ビル青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

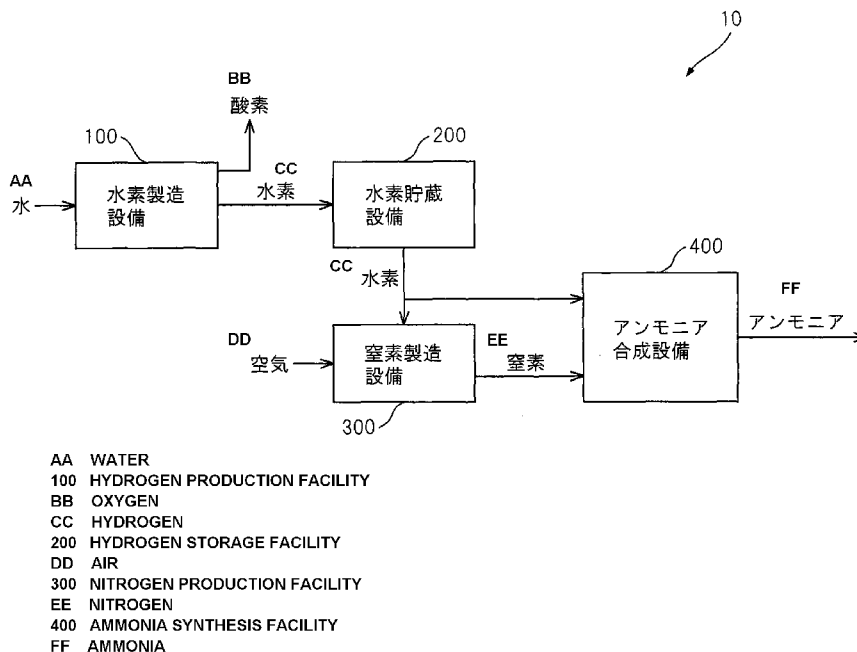
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,

[続葉有]

(54) Title: COMBINED PLANT

(54) 発明の名称: 複合プラント

FIG.1



(57) Abstract: A combined plant comprising: a hydrogen production facility in which solar energy is obtained and hydrogen is produced utilizing a part of the solar energy; a hydrogen storage facility in which hydrogen produced in the hydrogen production facility is stored; and a nitrogen production facility in which nitrogen is produced from air, wherein hydrogen and nitrogen produced are supplied to a synthesis facility continuously.

(57) 要約: 太陽エネルギーを取得し、且つ取得した太陽エネルギーの一部を利用して水素を製造する水素製造設備と、水素製造設備により製造した水素を貯蔵する水素貯蔵設備と、空気から窒素を製造する窒素製造設備とを備え、製造された水素と窒素を合成設備へ連続的に供給する複合型プラントを提供する。

WO 2010/128682 A1



LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

〔発明の名称〕 複合プラント

〔技術分野〕

本発明は、複合プラントに関する。

〔背景技術〕

近年の地球温暖化は益々深刻な事態に発展しつつある。その主原因は、20世紀に入りエネルギー源として多量に使用されてきた石油・天然ガス等の化石燃料から放出された大気中の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）等であると考えられている。

一方、エネルギー需要の増大により、かつては無尽蔵と考えられていた化石燃料の枯渇がより明確になりつつあり、予想を遙かに上回る早さで価格の高騰が続いている。近い将来、もはや人類は化石燃料のエネルギーに期待することが困難になることが予想される。

石油、天然ガス等の化石燃料エネルギーに代わる代替エネルギーとしては現在、石炭エネルギー、バイオマスエネルギー、核エネルギー、並びに太陽エネルギー等の自然エネルギーが検討されている。

代替エネルギーとして石炭エネルギーを利用する場合、石炭の燃焼によって多量の二酸化炭素が放出されることが問題となると考えられる。これに対しては、二酸化炭素を燃焼時に回収して地中に貯留することが提案されており、多くの研究が行われているが、長期間の安定的な貯留については未だに不確実性があり、また貯留に適した場所も偏在している。更に、二酸化炭素の回収、移送、地中への投入には多くのコストがかかることも問題になると考えられる。

また更に、石炭の燃焼が、硫黄酸化物（ $\text{SO}_x$ ）、スモーク等の発生による環境問題を引き起す可能性があることも問題になる。

代替エネルギーとしてのバイオマスエネルギー、特にエタノールを主とするバイオ燃料は、近年非常に脚光を浴びている。しかしながら、植物からのエタノールの生成及び濃縮には大きなエネルギーが必要であり、エネルギー効率的には不利なことがある。更に、バイオ燃料のための原料としてトウモロコシ、大豆、砂糖キビ等を利用する場合、これらは当然に食料及び飼料としての用途もあることから、食料及び飼料の価格を高騰させることになる。したがって、ブラジル等の特別な地域以外では、バイオマスエネルギーを実質的なエネルギー源として考慮することができない。

代替エネルギーとしての核エネルギーの利用は、原子力発電所からの放射性廃棄物の処理について十分な解決策が見出されているとはいえず、更には核拡散への恐れに基づく反対意見も多いことから、世界的に大きな進展は期待できない。むしろ長期的には原子炉の老朽化に伴う廃炉の増加によって、代替エネルギーとしての核エネルギーのシェアは減少して行くと予想される。

上記の通り、石炭エネルギー、バイオマスエネルギー、核エネルギーのいずれもが、持続性及び地球温暖化につながる二酸化炭素発生の問題を解決しているとは言えない。よって理想的なエネルギー源としては、太陽エネルギーがある。

#### [発明の概要]

太陽エネルギーは非常に有力な代替エネルギーであるものの、これを社会活動の中で活用するためには、（１）太陽エネルギーのエネルギー密度が低いこと、並びに（２）太陽エネルギーの貯蔵及び移送が困難であることが、問題となる。しかし、（２）の太陽エネ

ルギーの貯蔵及び移送に関する課題を解決することにより、砂漠等の広大な敷地を確保でき、利用できるようになることにより、エネルギー密度の低さは問題とならなくなる。

上記課題を解決するためには、太陽エネルギーを貯蔵及び移送が容易な化学エネルギーに変換することが必須である。種々の物質が考えられるが、取り扱い性、安全性、既存インフラの利用、エネルギーとしての応用性を考えるとアンモニアが最も適していると考えられる。このアンモニアの製造方法は、水素製造設備で、太陽エネルギーを取得し、且つ取得した太陽エネルギーの一部を利用して水から水素を製造すること、窒素製造設備で、空気から窒素を製造すること、水素貯蔵設備で、水素製造設備により製造した水素を貯蔵すること、アンモニア合成設備で、製造した水素及び製造した窒素からアンモニアを連続的に合成すること、を含む。

#### [図面の簡単な説明]

本発明を添付の図面を参照しながら以下に説明する。

図 1 は、アンモニア製造プラントの一例を示す図、

図 2 は、パラボリックディッシュ型集光装置の一例を示す図、

図 3 は、ソーラータワー型集光装置の一例を示す図、

図 4 は、パラボリックトラフ型集光装置の一例を示す図、

図 5 は、水素製造設備の一例を示す図、

図 6 は、水素貯蔵設備の一例を示す図、

図 7 は、水素貯蔵設備の別な一例を示す図、

図 8 は、窒素製造設備の一例を示す図、

図 9 は、深冷分離により窒素を製造する窒素製造設備の一例を示す図、

図 10 は、アンモニア合成設備の一例を示す図、

図 1 1 は、アンモニア合成設備の別な一例を示す図、

図 1 2 は、集光量の一例を示す図、

図 1 3 は、アンモニア製造量の算出及びアンモニア製造量の制御を行なう制御装置の一例を示す図、

図 1 4 は、アンモニア製造量の算出及びアンモニア製造量の制御を行なう処理フローを示す図、

図 1 5 は、アンモニアプラントの物質収支を示すためのプロセスフローの一例を示す図、

図 1 6 は、図 1 5 に示したプロセスフローの物質収支を示す図、

図 1 7 は、アンモニア合成設備 4 0 0 に合成ガスを供給する複合プラントの一例を示すである。

#### [発明を実施するための形態]

太陽エネルギーの貯蔵及び移送に関して、水、空気、及び太陽エネルギーから製造でき、且つ貯蔵及び移送が容易な液体燃料として、アンモニア ( $\text{NH}_3$ ) が考えられる。

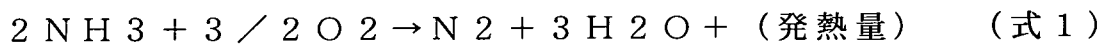
また、現在の世界のアンモニアの生産量は年間約 1.5 億トンであり、主として肥料用に大量に使用されている。このように市場で大量に使われている実績からも、アンモニアは十分な社会受容性を有するものと考えられる。

アンモニアの物理的特性は、LPG に近く、常温では 8 気圧程度で簡単に液化し、またその貯蔵及び移送に関しては十分な実績があり、特段の問題にはなっていない。また、アンモニアは不燃性物質と定義されており、着火はしにくく、着火しても燃焼速度が遅く可燃範囲も狭いので、その取り扱いの特段の問題にならないと考えられる。

アンモニアのエネルギー密度はガソリンの半分程度でメタノール

とほぼ同一であるが、理論混合比での発熱量はガソリン並みであり、燃料としては十分移動体にも適用可能である。更にタンカー等で遠隔地の火力発電所に送って、天然ガス、石炭に代えて燃やすことができ、その場合の効率は理論上、天然ガス、ガソリンを凌ぐと考えられる。

アンモニアの燃焼においては、下記の式 1 で示すような燃焼反応を行わせることができる。



すなわち、アンモニアの燃焼においては、二酸化炭素を生成せず、したがって地球温暖化に関して問題とならない。

以下、図面を参照して実施形態について説明する。

図 1 を用いて、太陽エネルギーを用いてアンモニアを合成するアンモニア製造プラントの一例を説明する。図 1 に示すように、アンモニア製造プラント 10 は、水素製造設備 100、水素貯蔵設備 200、窒素製造設備 300、及びアンモニア合成設備 400 を有する。

水素製造設備 100 は、太陽エネルギーを取得し、且つ取得した太陽エネルギーを利用して水から水素を製造する設備である。水素製造設備 100 は、太陽エネルギーを水素製造のためのエネルギー源として用いるので、太陽エネルギーが放射される昼間に水素製造の運転を行ない、太陽エネルギーの放射の無い夜間には水素製造の運転を停止する。

窒素製造設備 300 は、アンモニア合成設備 400 の合成ガスの一部となる窒素を空気から製造するための設備である。窒素製造設備 300 は、太陽エネルギーを直接用いず、後述するように外部からの電力又は水素燃焼により窒素を製造するため、外部からの電力又は水素の供給により昼夜問わず連続運転を行なうことが出来る。

アンモニア合成設備 400 は、水素及び窒素からアンモニアを合成する設備である。アンモニア合成設備 400 は、昼夜問わずアンモニアを連続的に合成する。

水素貯蔵設備 200 は、水素製造設備 100 で製造された水素を貯蔵し、且つ、水素をアンモニア合成設備 400、及び場合によっては窒素製造設備 300 に水素を連続的に供給するための設備である。

このように、水素製造設備 100 は、夜間には水素製造を停止するが、アンモニア合成設備 400 は昼夜問わずアンモニアを連続的に合成する。アンモニア合成設備 400 を、水素製造設備 100 に合わせて間欠的な運転とした場合、アンモニア合成設備 400 のスタートアップ工程、並びにシャットダウン工程によるエネルギー損失を生じる。そのため、水素貯蔵設備 200 は、昼間に水素製造設備 100 により製造された水素の少なくとも一部を貯蔵し、夜間でもアンモニア合成設備 400 に貯蔵した水素を供給することで、アンモニア製造プラント 10 は、アンモニア合成設備 400 によるアンモニアの連続的な合成を可能にする。アンモニア合成設備の連続的運転により、昼間に稼動し夜間は停止させるようなアンモニア合成設備の間欠運転によって生じるエネルギー損失を低減できる。

以下、アンモニア製造プラント 10 が有する各設備の詳細を順に説明する。

#### <水素製造設備 100>

水素製造設備 100 は、太陽エネルギーを取得し、且つ取得した太陽エネルギーの一部を利用して水素を製造する設備である。

#### <水素製造設備 100（太陽エネルギーの取得）>

太陽エネルギーを取得する方法としては、単に太陽光を受ける方法以外に、そのエネルギー密度を上げるために集光する方法がある

。例えば下記（A 1）～（A 3）の集光装置を利用することができる。

#### （A 1）パラボリックディッシュ型

図 2 は、パラボリックディッシュ型集光装置の一例を示す図である。図 2 で示すパラボリックディッシュ型集光装置は、太陽光 2 0 を反射させて集光する皿状反射部 1 4 1 と集光した光を受け取る受光部 1 4 2 を有し、受光部 1 4 2 において太陽熱エネルギーを取得する。受光部 1 4 2 で得た太陽熱エネルギーは、温度が高いため直接スターリングエンジンを駆動しても良いし、随意に熔融金属ナトリウムのような熔融アルカリ金属、熔融塩、オイル、水蒸気等の熱媒体を利用して、必要な箇所まで移動させることもできる。パラボリックディッシュ型集光装置は、比較的小規模な設備に適しており、太陽熱エネルギーとしては 1 0 k W ～ 数 1 0 0 k W 程度で好ましく用いられる。一般に、パラボリックディッシュ型集光装置は集光度が高く、それによって 2, 0 0 0 ℃ 以上の高温熱源が得られるが、コストが後述するタイプの集光装置と比して高い。

#### （A 2）ソーラータワー型

図 3 は、ソーラータワー型集光装置の一例を示す図である。図 3 に示すソーラータワー型集光装置 1 5 0 は、太陽光 2 0 を反射させて集光する複数の反射部 1 5 1 と集光した光を受け取る受光部 1 5 3 を有し、受光部 1 5 3 において太陽熱エネルギーを取得する。受光部 1 5 3 は、受光タワー 1 5 2 の上部に配置されている。太陽の動きに合わせて反射部 1 5 1 を受光部 1 5 3 に向けるように制御される。受光部 1 5 3 で得た太陽熱エネルギーは、随意に熱媒体を利用して、必要な箇所まで移動させることができる。ソーラータワー型集光装置は、1 0 M W ～ 数 1 0 0 M W の大規模なプラントに適している。一般に、ソーラータワー型集光装置では集光度が大きく、

1, 000℃以上の高温熱源が得られるが、タワーの建設費が高い。

### (A3) パラボリックトラフ型

図4は、パラボリックトラフ型集光装置の一例を示す図である。図4で示すパラボリックトラフ型集光装置は、太陽光20を反射させて集光するトラフ型反射部161と集光した光を受け取る受光部162を有し、受光部162において太陽熱エネルギーを取得する。受光部162で得た太陽熱エネルギーは、随意に熱媒体を、熱媒体流路163を経由させて流通させることによって、必要な箇所まで移動させることができる。パラボリックトラフ型集光装置は、構造が簡単でコストも安く、大規模な設備に適している。一般に、数100MWに適しているが、集光度が低く、得られる熱源は400～600℃の低温熱源である。

上記のように、集光装置にはそれぞれ特徴がある。したがって、水素製造設備100では、これらのうちのいずれか又はそれらの組み合わせを利用することができる。具体的には、高温の熱源のための太陽熱エネルギーを、集光度が大きい集光装置（例えばパラボリックディッシュ型集光装置及び／又はソーラータワー型集光装置）によって得、且つ他の太陽熱エネルギー、例えば低温の熱源、動力のための太陽熱エネルギーを、集光度が小さい集光装置（例えばパラボリックトラフ型集光装置）で得る事ができる。

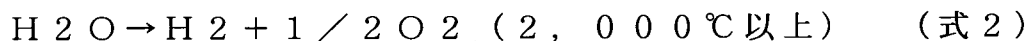
例えば、集光度が大きい集光装置によって得る太陽熱エネルギーを、集光度が大きい集光装置と集光度が小さい集光装置とで得る太陽熱エネルギーの合計の1/2以下、例えば1/3～1/2の範囲であるようにすることができる。このように、一般に高コストである集光度が大きい集光装置の割合を制限することは、集光設備全体のコストに関して好ましいことがある。

### ＜水素製造設備 1 0 0（水素製造法）＞

取得した太陽エネルギーの一部を利用して水から水素を製造する方法として、複数の方法を利用することができる。具体的には、例えば下記の（B 1）～（B 6）の水の分解方法がある。（B 1）～（B 4）の方法においては、水の分解反応に必要な反応温度を低下させることに、（B 5）の方法においては、光エネルギーの利用率を上げることに焦点が置かれている。

#### （B 1）直接熱分解法

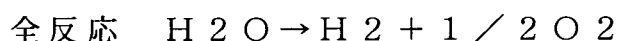
最も基本的な方法であり、下記の式 2 で示される反応によって、高温下で直接に水を水素と酸素に分解する。



この反応は本来、数千℃の温度を必要とするが、触媒を利用することによって 2,000℃前後の温度で達成することができる。

#### （B 2）金属酸化還元法

上記（B 1）で必要とされる高温を下げるために、第 3 の物質を介在させて水を分解する方法が存在する。その代表的な例は、亜鉛を介在させる方法であり、この場合の反応式は以下の通りである。

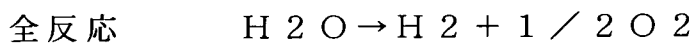
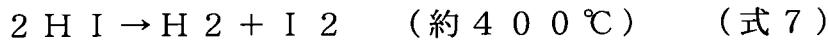
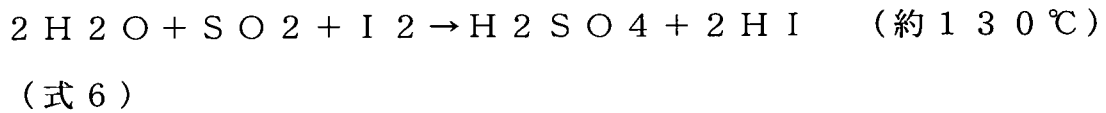
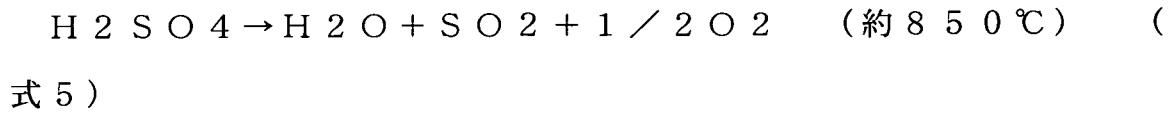


この方法では、高温の熱源（約 1700℃）と低温の熱源（400℃）の 2 種類の熱源が必要である。

#### （B 3）I－S（ヨウ素－イオウ）法

上記（B 2）の方法よりも更に反応温度を下げる方法として、I－S サイクル法がある。I－S 法は、850℃程度までの熱を利用して原料水をヨウ素（I）と硫黄（S）の化合物と反応させて得られるヨウ化水素酸や硫酸を熱分解することによって、水素と酸素を

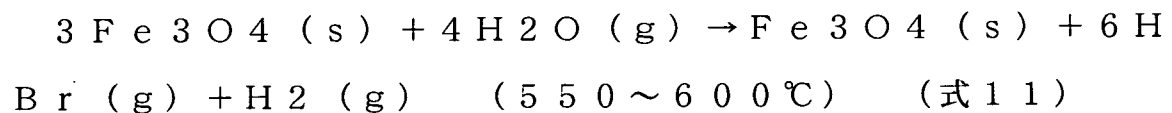
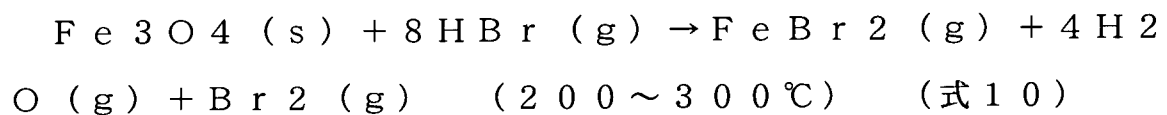
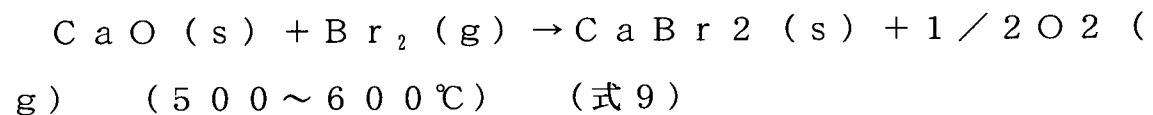
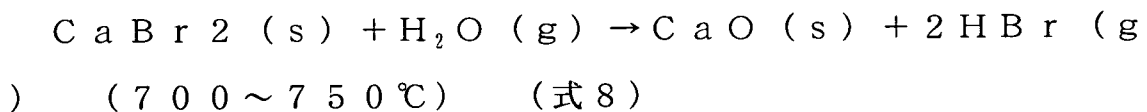
製造するものである。反応は以下の通りである。



この方法では、高温の熱源（850℃）と低温の熱源（400℃）の2種類の熱源が必要である。

#### (B4) UT-3 サイクル法

上記(B2)の方法よりも更に反応温度を下げる方法として、UT-3 サイクル法がある。反応は以下の通りである。



式8～11に示す4つの反応を加えると、水が水素と酸素に分解する反応が残り、他の化合物はサイクル中を循環する。反応はそれぞれ式8～11に示す温度で進行するので、サイクルを進行させるには最高750℃の熱エネルギーがあれば良い。

上記のように、熱を利用して水から水素を製造する上記(B1)～(B4)の反応ではいずれも少なくともその一部において、比較的高い温度の熱源を必要としている。

この比較的高い温度の熱源は、取得した太陽熱エネルギーを直接に熱源として利用して提供することができ、この場合には、必要な太陽熱エネルギーの少なくとも一部を、集光度が大きい集光装置、例えばパラボリックディッシュ型集光装置及び／又はソーラータワー型集光装置で得ることができる。

#### (B 5) 光触媒による水分解

熱エネルギーではなく、光エネルギーによって光電気化学的に水を分解する方法である。室温付近で水と接触している光触媒に太陽光を当てると、水を分解して水素と酸素が発生する。代表的な光触媒としては酸化チタンがある。しかし酸化チタンの場合、太陽光のうち、紫外領域の光しかこの反応に寄与せず、太陽光の大部分を占める可視光、近赤外光を利用できないため、効率が極めて低い。そこで、例えば、窒素原子や硫黄原子などの不純物を混ぜることによって可視光領域の光まで利用可能にした光触媒など、さまざまな光触媒の研究が行われている。また、色素や太陽電池材料となるような光を受けて起電力を発生する材料と光触媒とを組み合わせ、水分解の効率を上げる研究も盛んである。一方、光触媒は、高温熱源を必要とせず、面積当りのプラントコストが大変安価になる可能性があるため、敷地面積に余裕がある場合は主流の技術となる可能性を持つ。

#### (B 6) 水の電気分解法

水を電気分解することで、水素を製造することが出来る。水の電気分解法としては、例えば、アルカリ水電解法と固体高分子電解質水電解法がある。アルカリ水電解法としては、例えば、KOH水溶液が用いられる。固体高分子電解質水電解法では、例えば、フッ素樹脂系イオン交換膜が電解質に用いられる。

#### <水素製造設備（設備説明）>

図 5 に、水素製造設備 1 0 0 の一例である水素製造設備 1 0 0 A について説明する。

水素製造設備 1 0 0 A は、反応装置 1 3 0、集光設備 1 5 0 A、1 6 0 A、熱交換器 1 7 0 を有する。反応装置 1 3 0 は、上記 (B 1) ~ (B 4) (B 6) に示す方法のいずれかにより、水から水素を製造するための装置である。

図には示していないが、反応装置 1 3 0 は、直接太陽光を受けて上記 (B 5) に示す方法で水から水素を製造する装置であってもよい。また、反応装置 1 3 0 は、上記 (B 1) ~ (B 5) のいずれかを行なうための蒸留、分解、回収、混合、加圧、熱交換等の操作を行なうための機能を有する複数の機器を有する。反応装置 1 3 0 は、水素製造反応に伴う物質を除去する機能を有しても良い。例えば、I-S 法の場合、式 7 より、ヨウ化水素 (H I)、ヨウ素 (I<sub>2</sub>) が水素に随伴する場合がある。また、U T-3 法の場合、式 1 1 より、臭化水素 (H B r) が随伴する場合がある。この場合、これらの随伴ガスは、アンモニア合成触媒に接触する前に精製除去する必要があるため、精製除去を反応装置 1 3 0 で行なっても良い。

集光設備 1 5 0 A は、集光度が高い集光設備であり、例えば、図 3 を用いて説明したソーラータワー型集光装置 1 5 0 に相当する。集光設備 1 5 0 A で集めた太陽熱エネルギーは、例えば、(B 2) ~ (B 4) に示した 7 5 0 °C 以上の反応温度を実現するための高温熱源として利用しても良い。集光設備 1 6 0 A は、集光度が低い集光設備であり、例えば、図 4 を用いて説明したパラボリックトラフ型集光装置 1 6 0 に相当する。集光設備 1 6 0 A は、例えば、(B 2) ~ (B 4) に示した 7 5 0 °C 未満の低温の反応温度を実現するための高温熱源としても利用しても良い。このように、太陽熱エネルギーの取得を、集光度が小さい集光装置、例えばパラボリックト

ラフ型集光装置によって行うことで、集光設備全体のコストに関して好ましいことがある。また、図5においては、2種類の集光設備を示したが、集光設備150Aのみを用いて水素生成反応の全ての反応温度を実現しても良い。

このようにして、水素製造設備100Aは、取得した太陽エネルギーの一部を利用して水から水素並びに酸素を製造する。酸素は別用途で利用、または大気中に放出しても良い。製造された水素は、反応装置130からライン101に投入される。ライン101の水素は、熱交換器170で冷却され、ライン102に投入される。この冷却処理においては蒸気による熱及び／又は動力回収を行なっても良く、冷却水（CW）により水素貯蔵設備200の圧縮機（後述）のための所定温度まで冷却しても良い。ライン102の水素は、水素貯蔵設備200に加圧移送される。

なお、水素製造設備100Aは、図5に示すように発電ユニット190を有しても良い。発電ユニット190は、熱交換器191、蒸気タービン192、発電機194、復水器196、及びポンプ198を有する。熱交換器191は、高温の熱媒体と水とを熱交換することで、蒸気を発生する。蒸気タービン192は、熱交換器191から排出される蒸気で回転するタービンである。発電機194は、蒸気タービン192と連結し且つ回転するロータから動力を回収して、発電を行なう。復水器196は、蒸気タービン192から排出された蒸気を冷却し、水に戻し、水はポンプ198で熱交換器191に再度送り込まれる。なお、上記例では、蒸気は熱交換器191を用いて生成されたが、熱媒体との熱交換ではなく、150又は160で示す集光装置において直接蒸気を生成する構成としても良い。

（B6）に示した水の電気分解法を用いる場合、反応装置130

は、水の電気分解を行なう装置として機能する。水の電気分解に用いる電気は、発電機 1 9 4 から反応装置 1 3 0 に供給される。

#### ＜水素貯蔵設備＞

水素貯蔵設備 2 0 0 は、水素製造設備 1 0 0 で製造された水素を貯蔵し、且つ、水素を窒素製造設備 3 0 0 及びアンモニア合成設備 4 0 0 に供給する設備である。昼間に水素製造設備 1 0 0 により製造された水素の少なくとも一部を貯蔵し、夜間でも貯蔵した水素を窒素製造設備 3 0 0 及びアンモニア合成設備 4 0 0 に供給することで、水素貯蔵設備 2 0 0 は、窒素製造設備及びアンモニア合成設備 4 0 0 の連続運転を可能にする。

図 6 に、水素貯蔵設備 2 0 0 の一例である水素貯蔵設備 2 0 0 A を示す。水素貯蔵設備 2 0 0 A は、圧縮機 2 1 0、熱交換器 2 2 0、水素タンク 2 4 0、圧縮ユニット 2 5 0 A、及び圧力制御装置 2 6 0 A を有する。

水素製造設備 1 0 0 と接続されるライン 1 0 2 は、圧縮機 2 1 0 の入口に接続される。

圧縮機 2 1 0 の出口圧力は、窒素製造設備 3 0 0 のガスタービンの燃焼器（後述）への供給圧力、及び／又は、アンモニア合成設備 4 0 0 の反応器（後述）への合成ガス供給圧力に従って決定されても良い。このように、水素タンク 2 4 0 の入口側で圧力を上げることによって、窒素製造設備 3 0 0 のガスタービン燃焼器の直前における加圧、又は、アンモニア合成設備 4 0 0 の反応器直前の加圧にかかるエネルギーを軽減するとともに、水素タンク 2 4 0 に貯蔵されるガス密度が上がることで、水素タンク 2 4 0 の容量を小さくすることが出来る。

熱交換器 2 2 0 は、圧縮機 2 1 0 の加圧により加熱されている水素を冷却する。

水素タンク 240 は、夜間でも連続運転するアンモニア合成設備 400 に供給するための十分な量の水素を貯蔵する。水素タンク 240 A には、圧力計 (P I) 232 が取り付けられており、圧力計 232 は、タンクの圧力を検出する。図 6 では、1つの水素タンク 240 が示されるが、水素貯蔵設備 200 は、アンモニア合成設備 400 のアンモニア製造量に合わせて夜間運転に必要なとなる水素量を保存するために複数のタンクを有しても良い。水素タンク 240 に貯蔵された水素は、ライン 201 に投入される。ライン 201 の水素は、窒素製造設備 300、又は、アンモニア合成設備 400 に移送される。

ライン 203 は、水素タンク 240 をバイパスするラインである。水素タンク 240 に製造水素の一部を供給する場合、他の水素は、水素タンク 240 をバイパスして窒素製造設備 300 又はアンモニア合成設備 400 に供給される。

圧力制御装置 260 A は、図 13 を用いて後述する制御装置と同じ装置構成である。圧力制御装置 260 A は、ライン 201 の圧力が低下した場合、圧力制御装置 260 A を用いて水素タンク 240 に貯蔵される水素を加圧することでライン 201 の圧力を維持する。なお、水素タンク 240 の圧力は、水素製造設備 100 が稼動している間は製造された水素が供給されるため圧力を維持できるが、水素製造設備 100 が停止している間は、水素が供給されず且つアンモニア合成設備 400 に水素を供給するため、水素タンク 240 の圧力は低下する。

そのため、圧力制御装置 260 A は、ライン 201 の圧力を監視して、ライン 201 の圧力が低下した場合、圧縮ユニット 250 A を動作させて、ライン 201 の圧力を維持するように制御する。また、水素タンク 240 の圧力は、窒素製造設備 300 及びアンモニ

ア合成設備 400 への水素供給量に従って徐々に低下する。そのため、圧縮ユニット 250 A は、ライン 201 の圧力低下に対応して圧縮比を変化できた方が良い。図 6 に示される圧縮ユニット 250 A は、圧縮比を変えるために、多段構成の圧縮機を有する。例えば、ライン 201 の圧力低下が生じた場合、制御弁 252 及び制御弁 255 を閉じて、制御弁 251 及び制御弁 256 を開放し、圧縮機 253 を起動して、圧縮機 253 で加圧された水素は、ライン 201 に供給される。さらに、圧力が低下した場合は、制御弁 252 及び制御弁 256 を閉じて、制御弁 251 及び制御弁 255 を開放し、圧縮機 253 及び圧縮機 257 を起動して、圧縮機 253 及び圧縮機 257 で加圧された水素は、ライン 201 に供給される。圧縮機 253 及び圧縮機 257 は、インバータ制御により回転数を圧力に応じて制御しても良い。インバータ制御により、ライン 201 の圧力に応じて圧縮機の吐出圧力を変化することが出来るのであれば、圧縮ユニット 250 A は、1 つの圧縮機だけを有しても良い。このようにして、圧縮ユニット 250 A によって、ライン 201 の圧力は一定に維持される。

図 7 に、水素貯蔵設備 200 の別な一例である水素貯蔵設備 200 B を示す。水素貯蔵設備 200 B は、水素タンク 240、圧縮ユニット 250 B、及び圧力制御装置 260 B を有する。

水素貯蔵設備 200 B と水素貯蔵設備 200 A の相違点は、圧縮ユニット 250 B が水素製造設備 100 からのライン 102 で供給される水素の加圧を行なう機能と、夜間時のライン 201 の圧力低下を防ぐために、水素タンク 240 から供給される水素を加圧する機能とを両方備え、図 6 に示す圧縮機 210 を不要にしている点である。圧縮ユニット 250 B の設備構成は、図 6 に示す圧縮ユニット 250 A と同じである。

水素製造設備 1 0 0 稼動中は、圧力制御装置 2 6 0 B は、制御弁 2 1 2 及び制御弁 2 1 4 を開放し且つ制御弁 2 1 6 を閉じる。圧力制御装置 2 6 0 B は、さらに制御弁 2 5 2 及び制御弁 2 5 6 を閉じて、且つ制御弁 2 5 1 及び制御弁 2 5 5 を開放して圧縮機 2 5 3 及び圧縮機 2 5 7 を起動する。このようにして、圧縮ユニット 2 5 0 B は、水素タンク 2 4 0 及び窒素製造設備 3 0 0 及びアンモニア合成設備 4 0 0 に、水素製造設備 1 0 0 から製造された水素を加圧移送する。水素製造設備 1 0 0 停止中は、圧力制御装置 2 6 0 B は、制御弁 2 1 6 を開放し且つ制御弁 2 1 2 及び制御弁 2 1 4 を閉じて、圧縮ユニット 2 5 0 B を運転して、水素タンク 2 4 0 及び窒素製造設備 3 0 0 及びアンモニア合成設備 4 0 0 に、水素タンク 2 4 0 の水素を加圧移送する。水素製造設備 1 0 0 停止時の圧縮ユニット 2 5 0 B の運転は、上記した圧縮ユニット 2 5 0 A と同じである。

このように、圧縮ユニット 2 5 0 B がライン 1 0 2 から供給される製造水素を加圧する機能と水素タンク 2 4 0 から供給される水素を加圧する機能とを備えることにより、図 6 に示す圧縮機 2 1 0 を不要にすることが出来る。

#### < 窒素製造設備（窒素製造法） >

窒素製造設備 3 0 0 は、アンモニア合成設備 4 0 0 の合成ガスの一部となる窒素を空気から製造し、その一部を貯蔵する機能を含めた設備である。

窒素製造設備 3 0 0 は、下記の（C 1）又は（C 2）の方法により空気から窒素を製造する。

##### （C 1）深冷分離

深冷分離法では、空気を冷却しながら圧縮し、液体空気を作り、酸素と窒素との沸点の差を利用して、液体空気から窒素を分離する。深冷分離法では、高純度の窒素が得られるが、大規模な設備、及

び比較的多くのエネルギーが必要とされる。

### (C2) 燃焼による酸素の除去

製造した水素 ( $H_2$ ) を空気中で燃焼させ、空気中の酸素を消費させることによって、窒素ガスを製造できる。なお、水素の燃焼反応は発熱反応であるので、反応熱を利用してアンモニア製造プラント10において必要とされる電力等を作り出すことも出来る。

### <窒素製造設備(水素燃焼により窒素を製造する設備)>

図8に、水素燃焼により窒素を製造する窒素製造設備の一例を示す。窒素製造設備300Aは、水素燃焼装置310Aを有する。窒素製造設備300Aは、水素制御装置320A、制御弁340、制御弁342、熱交換器350、ガス精製装置360、窒素貯蔵設備380Aを有しても良い。

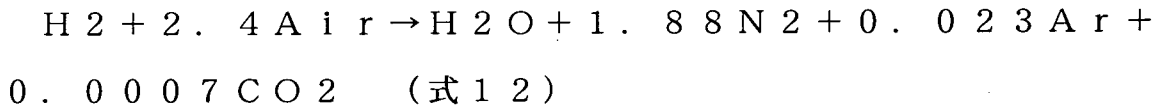
このように、窒素製造設備300Aは、製造された水素と、空気とを燃焼させて窒素を製造し、且つ燃焼により発電した電力を、アンモニア合成設備400及び水素製造設備100の少なくとも1つに供給する。

水素制御装置320Aは、制御弁340、342を用いてライン201から供給される水素を水素燃焼装置310Aに供給されるライン302と、アンモニア合成設備400に接続されるライン303とに分ける。

水素燃焼装置310Aは、空気圧縮機311、燃焼器312、ガスタービン313、排熱回収ボイラ314、蒸気タービン315、復水器316、ポンプ318、発電機319を有する。空気圧縮機311は、燃焼器312の圧力条件に従う所定圧力に空気を圧縮する。燃焼器312は、水素の燃焼反応を行なうために、ライン302から供給される水素と、空気圧縮機311により圧縮された空気とを燃焼する。なお、窒素製造設備300Aは、水素貯蔵設備20

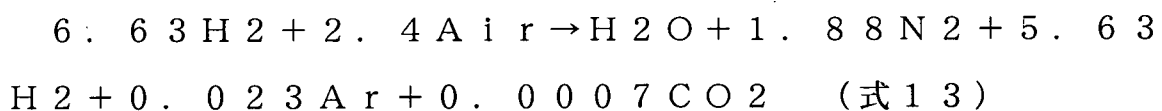
0 に貯蔵された水素を得ることが出来るので、水素製造設備 1 0 0 停止時であっても、水素燃焼装置 3 1 0 A は、連続運転することが出来る。そのため、水素燃焼装置 3 1 0 A のスタートアップ工程並びにシャットダウン工程に伴うエネルギー損失を生じない。

水素ガスの燃焼が化学量論比の場合の化学式を以下に示す。



このように、水素燃焼装置 3 1 0 A によって、アンモニア合成ガスの窒素を製造すると共に、下流のアンモニア合成設備 4 0 0 においてライン 3 0 3 から供給される水素ガスを混合し、所望の化学量論比を有する水素と窒素の合成ガスを製造することができる。

また、水素の空気中の燃焼限界は、4～75（容量％）である。水素と窒素との混合割合は、水素の燃焼限界範囲内であれば、自由に変更可能である。そのため、水素ガスの空気に対する混合比を燃焼限界の上限値である 75 容量％まで上げて、水素燃焼を行なっても良い。例えば、燃焼後の排出ガス中の窒素量及び水素量に応じてライン 3 0 3 から水素ガスを供給し、アンモニア合成ガスの混合比を、水素：窒素＝3：1 とする。その上で、燃焼後の排出ガス中の水素：窒素が 3：1 となるように予めライン 3 0 2 より水素燃焼装置 3 1 0 A へ水素ガスを供給することで、ライン 3 0 3 からの水素ガス追加供給を不要とすることができる。この場合でも、下式 1 3 に示すように、導入ガス中の水素濃度は、73.4 容量％となり、水素の可燃領域である。



一方、式 1 2 及び式 1 3 には示さないが、水素燃焼反応によって、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）が生じる。アンモニア合成において、含酸

素化合物は触媒毒であるため、後述するガス精製装置 360 により、 $\text{NO}_x$  は除去される。 $\text{NO}_x$  の燃焼ガス中の濃度は、酸素に対する水素の量を化学量論比より大きくすることで少なくすることができる。そのため、後述する  $\text{NO}_x$  除去設備の設備能力に従って、酸素に対する水素の量を化学量論比より大きくして燃焼する、言い換えれば、化学量論比よりも水素過剰で燃焼することが好ましい。

なお、水素制御装置 320A は、制御弁 340、342 を用いて、水素燃焼装置 310A で燃焼する水素を、ある水素過剰率で供給して、水素を燃焼させる。上記水素過剰率は、燃焼ガス中の酸素濃度、窒素酸化物濃度、及び発電効率の少なくとも 1 つにより決定しても良い。燃焼ガス中の酸素濃度、窒素酸化物濃度は、定期的を検出したデータを用いて水素制御装置 320A に設定しても良いし、後述するガス精製装置 360 において検出される検出値を用いても良い。また、水素制御装置 320A は、発電効率を、発電機 319 の発電量及びライン 302 における水素流量から得ることが出来る。

燃焼器 312 における燃焼温度は、例えば、 $1100 \sim 1500$  °C である。ガスタービン 313 による発電効率を上げようとするとき燃焼器 312 の圧力が高くなるため、供給される空気の圧縮比は、例えば、 $11 \sim 23$  である。そのため、燃焼器 312 に供給するライン 302 の水素供給圧力は、配管の圧力損失を考慮して  $11 \sim 23$  気圧より大きくなる。水素燃焼装置 310A はコンバインドサイクル発電装置である。ガスタービン 313 は、燃焼器 312 から的高温高压の燃焼ガスで回転するタービンである。排熱回収ボイラ 314 は、ガスタービン 313 から的高温排気ガスと水とを熱交換させることで、蒸気を発生するボイラである。蒸気タービン 315 は、排熱回収ボイラ 314 で熱交換された蒸気で回転するタービンで

ある。発電機 3 1 9 は、ガスタービン 3 1 3 及び蒸気タービン 3 1 5 から動力を得、回転するロータによって発電を行なう。復水器 3 1 6 は、蒸気タービンから排出された蒸気を冷却し、水に戻し、水はポンプ 3 1 8 で再度排熱回収ボイラ 3 1 4 に送り込まれる。

このように、窒素ガスの製造と共に発電機 3 1 9 により発電された電力は、水素貯蔵設備 2 0 0 及びアンモニア合成設備 4 0 0 の少なくとも 1 つの電力として使用することが出来る。また、熱交換器 3 5 0 から回収された熱は、水素製造設備 1 0 0、水素貯蔵設備 2 0 0、窒素製造設備 3 0 0、アンモニア合成設備 4 0 0 の少なくとも 1 つの熱源として使用することが出来る。そのため、単に窒素を製造するだけではなく、水素燃焼によるエネルギーを利用することで、外部から電気を受電することなく、または外部からの電力を低減し、昼夜を問わずアンモニア製造プラント 1 0 の連続運転を可能にする。

なお、窒素製造設備 3 0 0 A は、アンモニア合成に必要な窒素量を得る製造水素を燃焼する。窒素製造設備 3 0 0 A は、アンモニア合成設備 4 0 0、及び水素製造設備 1 0 0 の少なくとも 1 つに必要な電力から決定される電力を得る量の製造水素を燃焼する。その結果、窒素製造設備 3 0 0 A は、アンモニア合成ガスの原料である窒素を供給することが出来る。そして、外部から電気を受電することなく、または外部からの電力を低減し、昼夜を問わずアンモニア製造プラント 1 0 の連続運転を可能にする。電力需要が多い時には、製造窒素量が、アンモニア合成に必要な窒素量を超える場合がある。そのような場合は、窒素貯蔵設備 3 8 0 A をバッファとして窒素を貯蔵し、さらに過剰な窒素は、水素制御装置 3 2 0 A によって、制御弁 3 4 4 が制御され、ライン 3 0 5 を介してアンモニア製造プラント 1 0 以外で利用することを目的に外部へ供給される。この

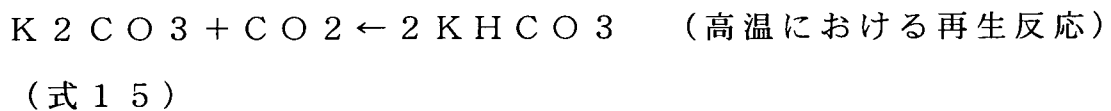
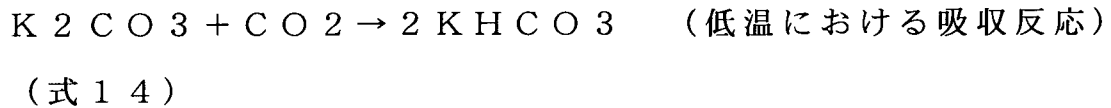
ように、窒素貯蔵設備 380 A を設け、過剰に製造された窒素を貯蔵することによって、窒素の需要に拘らず、水素燃焼装置 310 A の発電量すなわち窒素製造量を減らす自由度を作り出すことができる。たとえばアンモニア製造プラント 10 での電力の需要の変動や水素燃焼装置 310 A による発電電力の需要が一時的に減少する際に窒素貯蔵によりバッファができ、プラントとして円滑な動作が可能となる。あるいは、日中の太陽熱発電、深夜電力のような、より効率の良い、もしくはより安価な他の電力供給設備を使用することが可能となる。また、さらに過剰な窒素ガスをライン 305 から外部に供給することで、窒素製造設備 300 は、アンモニア合成ガスを製造するという機能のみならず、単に窒素を製造する装置として機能しうる。

熱交換器 350 からの排気ガスは、ライン 304 に供給される。水素制御装置 320 A は、ライン 303 への水素供給量と、ライン 302 への水素供給量とを制御する装置である。水素制御装置 320 A は、制御弁 340 を用いて燃焼器 312 への供給水素量を制御する。水素制御装置 320 A は、ライン 302 への水素量を制御することで、水素燃焼における窒素に対する水素の混合比を制御することが出来る。

アンモニア合成において、含酸素化合物は触媒毒であるため、空気に含まれる  $\text{CO}_2$ 、水素燃焼により生じた水、及び  $\text{NO}_x$  は所定の濃度まで除去する必要がある。従って、ガス精製装置 360 は、アンモニア合成設備 400 の入口条件に従って、水素ガス燃焼反応により製造する水素及び窒素以外の副生成物を除去する設備である。

ガス精製装置 360 として、水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 除去設備、二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) 除去設備、酸素 ( $\text{O}_2$ ) 除去設備、 $\text{NO}_x$  除去設備、過

酸化水素（ $\text{H}_2\text{O}_2$ ）除去設備を有しても良い。水除去設備として、ゼオライトを充填したドライヤがある。二酸化炭素（ $\text{CO}_2$ ）除去設備として、炭酸カリ水溶液を用いて反応吸収させる方法（下式）がある。



酸素（ $\text{O}_2$ ）除去設備として、 $\text{H}_2$ とのPd又はPtとの触媒反応、分離膜、PSA（Pressure Swing Adsorption）法がある。NO<sub>x</sub>除去設備として、アンモニアを用いた除去方法がある。

ガス精製装置360は、燃焼ガス中の酸素濃度、窒素酸化物濃度は、連続的に検出し、検出値を水素制御装置320Aに通知しても良い。

＜窒素製造設備（深冷分離により窒素を製造する設備）＞

図9に、深冷分離により窒素を製造する窒素製造設備の一例を示す。窒素製造設備300Bは、窒素製造設備300Aと比して、深冷分離設備370をさらに有し、ガス精製装置360が無い点において異なるが、他の装置は、窒素製造設備300Aと共通する。水素燃焼装置310Bは、窒素製造ではなく発電設備として設置され、水素燃焼装置310Bで発電された電力は、深冷分離設備370、水素貯蔵設備200、アンモニア合成設備400の少なくとも1つに供給される。なお、窒素製造設備300Bは、深冷分離設備370、アンモニア合成設備400、及び水素製造設備100の少なくとも1つに必要な電力から決定される電力を得る量の製造水素を燃焼する。水素制御装置320Bは、ライン303に供給される水素量に応じて、深冷分離設備370で製造され、ライン304に供

給される窒素量を制御することが出来る。

窒素製造設備 300B は、水素貯蔵設備 200 に貯蔵された水素を得ることが出来るので、水素製造設備 100 停止時であっても、水素燃焼装置 310B は連続運転することが出来る。

従って、窒素製造設備 300B は、製造された水素と空気とを燃焼させて発電した電力を、深冷分離設備 370、アンモニア合成設備 400、及び水素貯蔵設備 200 の少なくとも 1 つに供給する発電設備を備え、外部からの受電を必要とせず、アンモニア製造プラント 10 と深冷分離設備 370 の連続運転が可能になる。そのため、深冷分離設備 370 のスタートアップ工程並びにシャットダウン工程に伴うエネルギー損失を軽減できる。窒素製造設備 300B は、窒素貯蔵設備 380B を有しても良い。窒素貯蔵設備を持つことによって、より効率の良い、もしくはより安価な他の電力で窒素を製造し、貯めておくことができる。例えば、図 5 に示す発電ユニット 190 をアンモニア製造プラント 10 が有する場合、日中の余剰太陽熱で発電した電力を利用して深冷分離設備 370 において窒素を製造し、窒素貯蔵設備 380B に貯めることができる。また、外部から電力を供給できる場合は、深夜電力で窒素を多めに製造し、貯めておくことも可能である。

窒素製造設備 300B における、窒素製造設備 300A と共通する他の装置についての説明は省略する。

深冷分離により製造される窒素は、導入される空気から深冷分離内のコールドボックスに入る前に水と二酸化炭素が抜かれ、且つその空気を液化した後に酸素と窒素に分離される。ここで製造した窒素ガス中の含酸素化合物は極めて低い濃度であるため、ガス精製装置 360 を不要とすることが出来る。また、副生した酸素はアンモニア製造プラント 10 以外でも利用することができる。

### ＜アンモニア合成設備（アンモニア合成方法）＞

水素及び窒素からアンモニアを合成する設備である。

アンモニア合成は、下記に示す反応式で示され、発熱反応である。



式 16 に示すように容積が減少する反応であるため、反応圧力は、化学平衡上高圧が好ましい。アンモニア合成反応は発熱反応であっても、圧縮工程の必要性により、アンモニア合成には動力が必要となる。

### ＜アンモニア合成設備（設備説明）＞

図 10 に、アンモニア合成設備の一例を示す。アンモニア合成設備 400A は、合成ガス圧縮機 420、合成ガス熱交換器 430、反応器 440、液化設備 450、及びアンモニア合成制御装置 460 を有する。ライン 303 には、ライン 303 を流れる水素の流量を検出する流量計（FI）461 が設置される。ライン 304 には、ライン 304 を流れる窒素の流量を検出する流量計 462 が設置される。ライン 406 には、ライン 406 を流れるアンモニアの流量を検出する流量計 463 が設置される。アンモニア合成制御装置 460 は、流量計 461 から得た水素流量、及び、流量計 462 から得た窒素流量に基づいて、式 16 に示す化学量論比に基づいて設定値となる所定のアンモニア製造量を流量計 463 から得られるように各設備を制御する。なお、アンモニア合成制御装置 460 は、設定値となる所定のアンモニア製造量は、後述の制御装置 900 から受信しても良い。

ライン 303、304 から供給される合成ガスは、合成ガス圧縮機 420 によって反応器 440 の反応圧力まで昇圧される。そして、合成ガスは、合成ガス圧縮機 420 の吐出からライン 401 に供

給される。ライン 4 0 1 は、合成ガス熱交換器 4 3 0 の低温側に供給される。

合成ガス圧縮機 4 2 0 は、水素及び窒素を含む合成ガスをアンモニア合成反応の反応圧力まで加圧するための圧縮機である。合成ガス圧縮機は、多段構成の遠心圧縮機、又は、多段構成の軸流圧縮機である。図 1 0 では、合成ガス圧縮機 4 2 0 は、2 つの圧縮機から構成されているが、この構成に限定されない。

合成ガス熱交換器 4 3 0 は、合成ガスの発熱反応により高温化したアンモニアガスを高温側に入れ、合成ガスを低温側に入れる熱交換器である。このように、高温化したアンモニアガスを熱媒体として利用することで、合成ガスを反応温度まで加熱するエネルギーを外部から供給することが不要になる。

反応器 4 4 0 は、所定の触媒が充填され、且つ、式 1 6 で示されるアンモニア合成反応を行なう機器である。

反応器 4 4 0 で合成されたアンモニアは、ライン 4 0 3 に供給される。ライン 4 0 3 に供給されたアンモニアは、合成ガス熱交換器 4 3 0 によって低温化され、ライン 4 0 4 に供給される。ライン 4 0 4 は、液化設備 4 5 0 に接続される。

液化設備 4 5 0 は、生成したアンモニアを液化し、ライン 4 0 6 に取り出し、未反応の合成ガスを、ライン 4 0 5 に戻し、新規な合成ガスとともに合成ガス圧縮機 4 2 0 で加圧され反応器 4 4 0 に投入される。液化設備 4 5 0 で液化されたアンモニアは、ライン 4 0 6 から図示しないアンモニア貯蔵設備に貯蔵され、陸上及び／又は船上出荷される。

図 1 1 に、アンモニア合成設備の別な一例を示す。アンモニア合成設備 4 0 0 B は、ライン 3 0 3 の接続先が合成ガス圧縮機 4 2 0 の後段側であることを除いて、図 1 0 を用いて説明したアンモニア

合成設備 4 0 0 A と同じ構成を有する。そのため、アンモニア合成設備 4 0 0 A と同じ構成については説明を省略する。

ライン 3 0 4 に供給される窒素は、合成ガス圧縮機 4 2 0 の 1 段圧縮機の入口に供給される。ライン 3 0 3 に供給される水素は、合成ガス圧縮機 4 2 0 の 2 段圧縮機の入口に供給される。

ライン 3 0 4 から供給される窒素は、ガスタービン 3 1 3 の排気圧力であるため、低圧である。ライン 3 0 3 から供給される水素は、圧縮貯蔵された水素タンク 2 0 2 から供給されるため高圧である。したがって、ライン 3 0 4 からの窒素は、圧縮機の 1 段目に供給され、ライン 3 0 3 からの水素は、圧縮機の 2 段目以降に供給すれば良い。なお、図 1 1 では、合成ガス圧縮機 4 2 0 が多段構成になることを例示したものであり、合成ガス圧縮機は、図 1 1 に説明した合成ガス圧縮機 4 2 0 に限定されない。

このように、ライン 3 0 4 から供給される窒素の 3 倍のモル数の水素をライン 3 0 3 から圧縮機の後段の入口側に投入することで、混合後の合成ガスを圧縮機の 1 段目に投入して加圧する場合と比して、合成ガス圧縮機 4 2 0 の必要動力を大幅に減少することが出来る。上述のように、アンモニア製造プラントでは、合成ガスの圧縮動力がアンモニア当たりの必要エネルギーにおいて大きな比率を占めるため、合成ガス圧縮機 4 2 0 の必要動力の低下は、アンモニア当たりの必要エネルギーを低減することが出来る。

#### ＜アンモニア合成設備の制御＞

水素製造設備 1 0 0 は、日射量によって水素の製造量が異なるため、アンモニア製造プラント 1 0 は、日射量に従ってアンモニアの生産量を制御しても良い。

図 1 2 は、日射の集光量の一例を示す図である。集光量曲線 8 0 1 は夏の集光量を示す。集光量曲線 8 0 3 は冬の集光量を示す。集

光量曲線 802 は、春又は秋の集光量を示す。図示されるように、夏は日の出から日の入りの時間が長いため、集光量が大きい。一方、冬は日の出から日の入りの時間が短いため、集光量が小さい。集光量が小さいとき、目標アンモニア製造量に対して水素を十分に得られない場合がある。また、集光量が大きいときは過剰な水素が製造される。そのため、アンモニア製造プラント 10 は、集光量に従ってアンモニアの製造量を制御することが好ましい。

図 13 を用いて、アンモニア製造量の算出及びアンモニア製造量の制御を行なう制御装置の一例を説明する。制御装置 900 は、記憶部 911、処理部 912、通信部 913、外部記憶装置 914、ドライブ装置 915、及びバス 919 を有する。なお、図示しないが制御装置 900 は、通信部 913 を介して、アンモニア製造プラント 10 の計装機器類、並びに、圧力制御装置 260A 又は圧力制御装置 260B、水素制御装置 320A 又は水素制御装置 320B、及びアンモニア合成制御装置 460 と接続されている。

制御装置 900 は、記憶部 911 に日射量情報、水素タンク残存量、天気予報情報を格納する。日射量情報並びに天気予報情報は、通信部 913 を介して日射量並びに天気予報を予測する外部システムからネットワーク受信することが出来る。制御装置 900 は、水素タンクの圧力計 232 から取得した圧力情報を用いて水素タンク残存量を取得する。日射量情報は、季節ごとに変わる日の出から日没までの時間、及び、天気予報に応じて決めた時間当たりの日射量を記録し、記録を用いて集光量及び水素製造量を予測するための情報である。言い換えれば、日射量情報は、例えば、図 12 に示すように季節及び時間の変動を記録した日射量を含む情報である。

制御装置 900 は、さらに、アンモニア製造量を算出し、且つアンモニア合成設備に算出したアンモニア製造量でアンモニアを製造

させるためのプログラムを格納する。制御装置 900 の処理部 912 は、上記プログラムを実行することで、アンモニア製造量算出機能を実現する。制御装置 900 は、アンモニア製造量算出機能により、算出したアンモニア製造量を設定値としてアンモニア合成制御装置 460 に送信することで、アンモニア合成設備 400 のアンモニア製造量を制御することができる。

このように、制御装置 900 は、太陽の日射量情報に基づいて 1 日に製造可能な水素量を算出し、且つ算出した製造水素量を原料とするアンモニア製造量を算出することで、算出したアンモニア製造量でアンモニア合成設備 400 にアンモニアを製造させる。

図 13、図 14 を用いて、制御装置 900 によるアンモニア製造量の算出及びアンモニア製造量の制御を行なう処理のフローの一例を説明する。

制御装置 900 の処理部 912 は、日射量情報から得られる日射量を用いて、水素製造量を算出する (S701)。水素製造量は、日射量から得られる熱エネルギーに基づいて算出される。処理部 912 は、算出した水素製造量から、水素貯蔵設備 200 から窒素製造設備 300 及びアンモニア合成設備 400 に供給する時間当たりの水素流量を算出される (S702)。次に、処理部 912 は、窒素製造設備 300 及びアンモニア合成設備 400 への水素流量を決定する (S703)。水素燃焼反応は、窒素製造及び発電のために行なわれるが、窒素製造量又は発電のどちらか支配的な量に基づいて水素流量が決定する。水素燃焼装置 310 の発電効率が高く、アンモニア合成設備 400 の消費電力効果が大きい場合などは、少ない水素量で所定の発電量を満たす一方、十分な合成ガス用の窒素量が得られない場合は、窒素を製造するために窒素製造設備 300 への水素流量が決定される。また、電力需要が多い場合は、合成ガス

の必要窒素量以上に窒素を製造して、発電を行なうため窒素製造設備 300 への水素流量が決定される。

なお、水素流量は、以下の式を用いて算出することが出来る。

$H_a$  = 窒素製造設備 300 及びアンモニア合成設備への水素供給量

$H_g$  = 合成ガスの水素流量

$H_e$  = 発電用の水素流量

$H_n$  = 窒素製造用の水素流量

$N_g$  = 合成ガス中の窒素流量

$a$  = 所定係数（アンモニア製造の必要電力から決定される係数）

$b$  = 窒素製造に必要な水素の窒素に対する割合。

$$H_a = H_g + H_e \quad (\text{式 2 1})$$

$$H_a = H_g + H_n \quad (\text{式 2 2})$$

$$H_e = a \times H_g \quad (\text{式 2 3})$$

$$H_n = b \times N_g \quad (\text{式 2 4})$$

$$N_g = 1/3 \times H_g \quad (\text{式 2 5})$$

発電目的の水素流量が決まる場合、式 2 1 及び式 2 3 を用いて得られる下式 2 6 から合成ガスの水素流量 ( $H_g$ ) が求められる。

$$H_g = H_a / (1 + a) \quad (\text{式 2 6})$$

窒素製造目的で水素流量が決まる場合、式 2 2、式 2 4 及び式 2 5 を用いて得られる下式 2 7 から合成ガスの水素流量 ( $H_g$ ) が求められる。

$$H_g = H_a / (1 + b/3) \quad (\text{式 2 7})$$

処理部 912 は、算出した  $H_g$  から、 $N_g$  を求め (S704)、さらに、 $H_g$  及び  $N_g$  からアンモニア製造量を算出する (S705)。制御装置 900 は、このようにして算出したアンモニア製造量を、設定値としてアンモニア合成制御装置 460 に送信することで

、アンモニア合成設備 400 のアンモニア製造量を制御することができる。

日射量情報をもとに水素製造量、並びに、アンモニア製造量を算出し、制御することによって、日射があるときだけ生じる水素を平準化してアンモニア合成設備 400 に送る水素量を算出することで、間欠運転によるエネルギー損失を回避することで、太陽エネルギーを効率よく利用してアンモニアを製造することが出来る。

#### ＜アンモニアの合成ガスを供給する複合プラント＞

図 17 を用いて、アンモニア合成設備 400 に合成ガスを供給する複合プラントの一例を示す。複合プラント 30 は、アンモニア合成設備 400 に合成ガスを供給するプラントである。

複合プラント 30 は、図 5 ～ 9 を用いて説明した水素製造設備 100 A、水素貯蔵設備 200 A 又は水素貯蔵設備 200 B、窒素製造設備 300 A 又は窒素製造設備 300 B を含み、水素及び窒素を含む合成ガスをアンモニア合成設備 400 に供給する。水素製造設備 100 A、水素貯蔵設備 200 A 又は水素貯蔵設備 200 B、窒素製造設備 300 A 又は窒素製造設備 300 B は、既に説明したため、ここでの説明を省略する。

複合プラント 30 は、水素貯蔵設備 200 B を有する場合、圧縮ユニット 250 B の多機能性によって図 6 に示す圧縮機 210 を省略することが出来る。また、図 6 及び 7 を用いて説明したように、水素タンク 240 に貯蔵される水素は、燃焼器 312 の運転圧に合わせて昇圧されている。そのため、水素タンク 240 の必要容量を小さくでき、さらに、図 11 を用いて説明したように、水素は、合成ガス圧縮機 420 の後段に供給することで、アンモニア合成設備 400 における合成ガス圧縮機 420 の圧縮動力を低下させることが出来る。

### ＜アンモニアプラントの物質収支＞

図 1 5 を用いて、アンモニアプラントの物質収支を示すためのプロセスフロー図を説明する。

ライン 2 0 1、3 0 3、3 0 4、3 0 5、及び 4 0 6 は、図 5 ～ 1 0 で説明した通りである。電力 2 9 1 は、窒素製造設備 3 0 0 から水素貯蔵設備 2 0 0 に供給する電力である。電力 3 9 1 は、深冷分離により窒素製造設備 3 0 0 が消費する電力である。電力 4 9 1 は、窒素製造設備 3 0 0 からアンモニア合成設備 4 0 0 に供給する電力である。

図 1 6 を用いて、図 1 5 に示したアンモニアプラントにおける物質収支の一例を説明する。

以下に示す 3 つのケースにおいて、物質収支を計算した。

ケース A) 水素燃焼により窒素を製造し、且つ水素燃焼により発電した電気を、窒素製造設備及びアンモニア合成設備で 2 4 時間使用する。

ケース B) 水素燃焼により窒素を製造し、且つ水素燃焼により発電した電気を、窒素製造設備及びアンモニア合成設備で夜間のみ使用する。昼間は、図 5 の発電ユニット 1 9 0 で発電して、発電ユニット 1 9 0 から窒素製造設備及びアンモニア合成設備に必要な電力を供給する。

ケース C) 深冷分離により窒素を製造し、且つ水素燃焼により発電した電気を、窒素製造設備及びアンモニア合成設備で夜間のみ使用する。

物質収支を計算する計算条件は以下の通りである。

アンモニア製造量：2, 5 0 0 t / d

合成ガス中の窒素量：1, 8 6 0, 0 0 0 N m<sup>3</sup> / d

合成ガス中の水素量：5, 5 7 0, 0 0 0 N m<sup>3</sup> / d

水素燃焼ガス発電効率：0.3

図16に上記ケース及び計算条件で得た物質収支の表801を示す。表801から明らかのように、アンモニア製造量を一定とした場合、ライン201に示される必要水素流量は、ケースC、ケースA、ケースBの順で少なくなる。夜間の必要電力を全て窒素製造設備300で供給するケースBとケースCを比較すると、深冷分離より水素燃焼により窒素を製造したほうが、必要水素量が小さくなることがわかる。

この結果は、いくつかの仮定に基づいて計算したものであり、実際のプラントでの選択は、この計算以外にも、例えば、プラントの建設コスト、メンテナンス性、外部からの電力供給の可否、敷地面積等、数多くの要因を考慮して決定される。

ここで記載した全ての例と条件は、読み手に本発明を理解させることを意図した記載であるため、本発明の限定を伴わずに解釈されるべきである。本発明の実施例は詳細に記載されたが、発明の範囲と離れることなく、様々な変更、置換、及び代替案がなされ得ることを理解すべきである。

## 請 求 の 範 囲

請求項 1. 太陽エネルギーを取得し、且つ取得した太陽エネルギーの一部を利用して水素製造設備で水素を製造すること、

窒素製造設備で、空気から窒素を製造すること、

水素貯蔵設備で、前記水素製造設備により製造した水素を貯蔵すること、

アンモニア合成設備で、前記製造した水素及び前記製造した窒素からアンモニアを連続的に合成すること、

を含むアンモニア製造方法。

請求項 2. 前記窒素貯蔵設備で、前記窒素製造設備により製造した窒素を貯蔵すること、を含む請求項 1 に記載のアンモニア製造方法。

請求項 3. 前記製造された水素と空気とを燃焼させて発生した熱エネルギーを電気エネルギーへ変換し、得られた電力を、前記窒素製造設備、前記アンモニア合成設備、及び前記水素製造設備の少なくとも 1 つに供給することを含む、請求項 1 に記載のアンモニア製造方法。

請求項 4. 前記窒素製造設備で、前記製造された水素と、空気とを燃焼させて窒素を製造し、且つ前記燃焼により発生した熱エネルギーを電気エネルギーへ変換し、得られた電力を、前記アンモニア合成設備及び前記水素製造設備の少なくとも 1 つに供給することを含む、請求項 1 に記載のアンモニア製造方法。

請求項 5. 前記窒素製造設備で、空気と水素を化学量論比よりも水素過剰で燃焼させ、前記水素過剰の率は、燃焼ガス中の酸素濃度、窒素酸化物濃度、及び発電効率の少なくとも 1 つにより決定することを含む、請求項 4 に記載のアンモニア製造方法。

請求項 6. 前記窒素製造設備で、アンモニア合成に必要な窒素量を得る量の前記製造水素を燃焼することを含む、請求項 4 に記載のアンモニア製造方法。

請求項 7. 前記窒素製造設備で、前記アンモニア合成設備、及び前記水素製造設備の少なくとも 1 つに必要な電力から決定された電力を得る量の前記製造水素を燃焼することを含む、請求項 3 に記載のアンモニア製造方法。

請求項 8. 前記窒素製造設備で、前記水素貯蔵設備から前記製造水素を得ることを含む、請求項 6 又は 7 に記載のアンモニア製造方法。

請求項 9. 前記水素貯蔵設備で、前記窒素製造設備における水素と空気との燃焼圧力、及び／又は、前記アンモニア合成の反応圧力に基づいた圧力で、前記水素を貯蔵することを含む、請求項 3 に記載のアンモニア製造方法。

請求項 10. 太陽の日射量情報に基づいて 1 日に製造可能な水素量を算出し、且つ前記算出した製造水素量に基づいてアンモニア製造量を算出すること、を含み、

前記アンモニアの連続的合成は、前記算出したアンモニア製造量でアンモニアを製造する、請求項 1 に記載のアンモニア製造方法。

請求項 11. 太陽エネルギーを取得し、且つ取得した太陽エネルギーの一部を利用して水素製造設備で水素を製造すること、

窒素製造設備で、空気から窒素を製造すること、

水素貯蔵設備で、前記水素製造設備により製造した水素を貯蔵すること、

アンモニア合成設備に、前記製造した水素と、前記製造した窒素とを供給すること、

を含むアンモニア合成ガス製造方法。

請求項 1 2. 前記窒素貯蔵設備で、前記窒素製造設備により製造した窒素を貯蔵すること、を含む請求項 1 1 に記載のアンモニア合成ガス製造方法。

請求項 1 3. 前記窒素製造設備は、前記製造された水素と、空気とを燃焼させて窒素を製造し、且つ前記燃焼により発生した熱エネルギーを電気エネルギーへ変換し、得られた電力を、前記アンモニア合成設備及び前記水素製造設備の少なくとも 1 つに供給すること、を含む請求項 1 1 に記載のアンモニア合成ガス製造方法。

請求項 1 4. 前記水素貯蔵設備は、前記窒素製造設備における水素と空気との燃焼圧力、及び／又は、前記アンモニア合成の反応圧力に基づいた圧力で、前記水素を貯蔵すること、を含む請求項 1 3 に記載のアンモニア合成ガス製造方法。

請求項 1 5. 太陽エネルギーを用いてアンモニアを製造するアンモニア製造プラントにおいて、

太陽エネルギーを取得し、且つ取得した太陽エネルギーの一部を利用して水素を製造する水素製造設備と、

空気から窒素を製造する窒素製造設備と、

前記水素製造設備により製造された水素を貯蔵する水素貯蔵設備と、

前記製造した水素及び前記製造した窒素からアンモニアを連続的に合成するアンモニア合成設備と、

を備えるアンモニア製造プラント。

請求項 1 6. 前記窒素製造設備により製造した窒素を貯蔵する窒素貯蔵設備を備える請求項 1 5 に記載のアンモニア合成プラント。

請求項 1 7. 前記製造された水素と空気とを燃焼させて発生した熱エネルギーを電気エネルギーへ変換し、得られた電力を、前記窒素製造設備、前記アンモニア合成設備、及び前記水素製造設備の少

なくとも1つに供給する発電設備を備える、請求項15に記載のアンモニア製造プラント。

請求項18. 前記窒素製造設備は、前記製造された水素と、空気とを燃焼させて窒素を製造し、且つ前記燃焼により発生した熱エネルギーを電気エネルギーへ変換し、得られた電力を、前記アンモニア合成設備及び前記水素製造設備の少なくとも1つに供給する、請求項15に記載のアンモニア製造プラント。

請求項19. 前記窒素製造設備は、空気と水素を化学量論比よりも水素過剰で燃焼させ、前記水素過剰の率は、燃焼ガス中の酸素濃度、窒素酸化物濃度、及び発電効率の少なくとも1つにより決定する、請求項18に記載のアンモニア製造プラント。

請求項20. 前記窒素製造設備で、アンモニア合成に必要な窒素量を得る量の前記製造水素を燃焼する、請求項18に記載のアンモニア製造プラント。

請求項21. 前記窒素製造設備は、前記アンモニア合成設備、及び前記水素製造設備の少なくとも1つに必要な電力から決定される電力を得る量の前記製造水素を燃焼する、請求項17に記載のアンモニア製造プラント。

請求項22. 前記窒素製造設備は、前記水素貯蔵設備から前記製造水素を得る、請求項20又は21に記載のアンモニア製造プラント。

請求項23. 前記水素貯蔵設備は、前記窒素製造設備における水素と空気との燃焼圧力、及び／又は、前記アンモニア合成の反応圧力に基づいた圧力で、前記水素を貯蔵する、請求項17に記載のアンモニア製造プラント。

請求項24. 太陽の日射量情報に基づいて1日に製造可能な水素量を算出し、前記算出した製造水素量に基づいてアンモニア製造量

を算出し、且つ前記算出したアンモニア製造量で前記アンモニア合成設備にアンモニアを製造させる制御装置を備える、請求項 15 に記載のアンモニア製造プラント。

請求項 25. 水素及び窒素からアンモニアを連続的に合成するアンモニア合成設備に、水素及び窒素を連続的に供給する複合プラントであって、

太陽エネルギーを取得し、且つ取得した太陽エネルギーの一部を利用して水素を製造する水素製造設備と、

空気から窒素を製造し、且つ前記窒素を前記アンモニア合成設備に供給する窒素製造設備と、

前記水素製造設備により製造した水素を貯蔵し、且つ前記製造水素を前記アンモニア合成設備に供給する水素貯蔵設備と、

を備える複合プラント。

請求項 26. 前記窒素製造設備により製造した窒素を貯蔵する窒素貯蔵設備を備える請求項 25 に記載の複合プラント。

請求項 27. 前記窒素製造設備は、前記製造された水素と、空気とを燃焼させて窒素を製造し、且つ前記燃焼により発生した熱エネルギーを電気エネルギーへ変換し、得られた電力を、前記アンモニア合成設備及び前記水素製造設備の少なくとも 1 つに供給する、請求項 25 に記載の複合プラント。

請求項 28. 前記水素貯蔵設備は、前記窒素製造設備における水素と空気との燃焼圧力、及び／又は、前記アンモニア合成の反応圧力に基づいた圧力で、前記水素を貯蔵する、請求項 25 に記載の複合プラント。

FIG.1

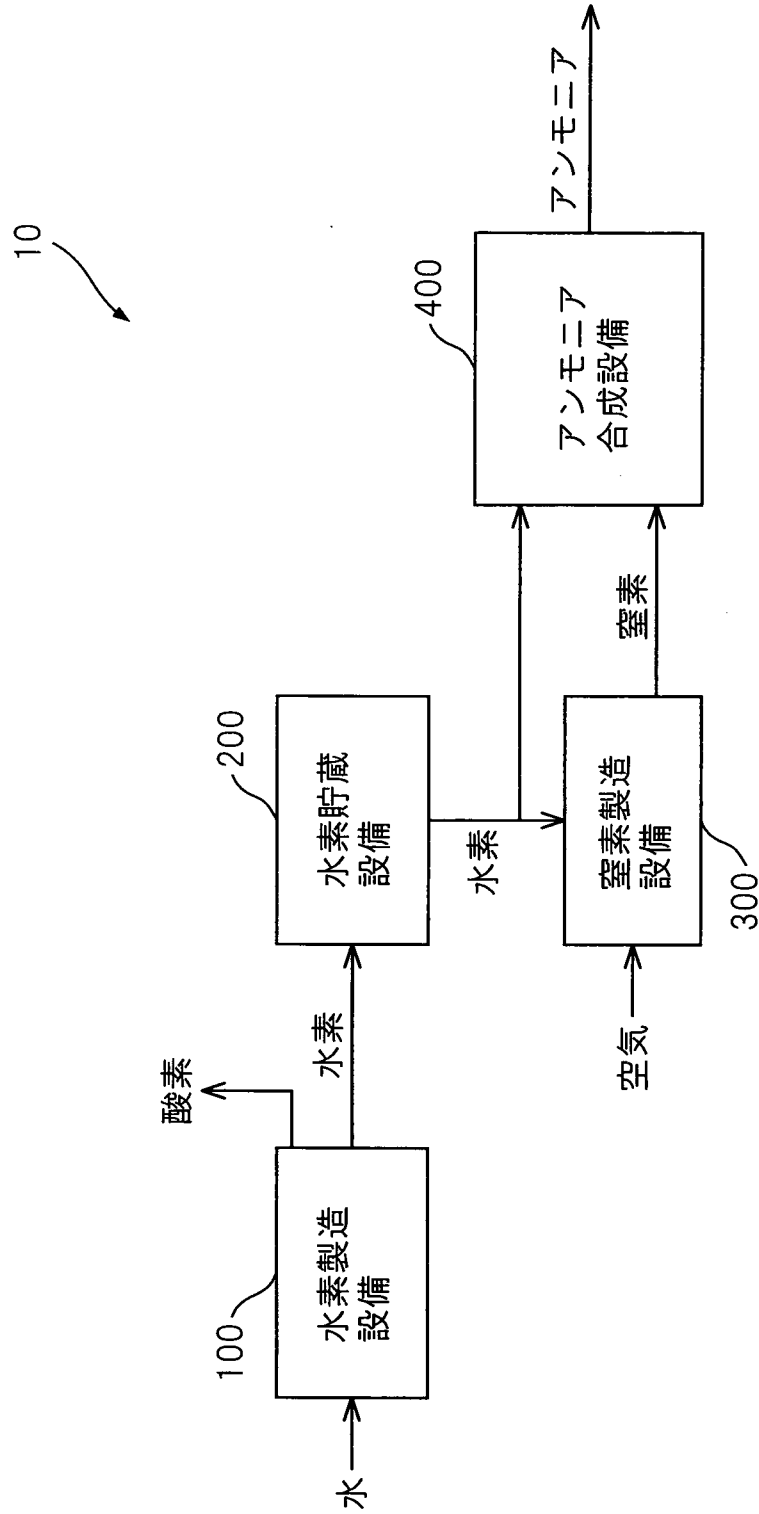


FIG.2

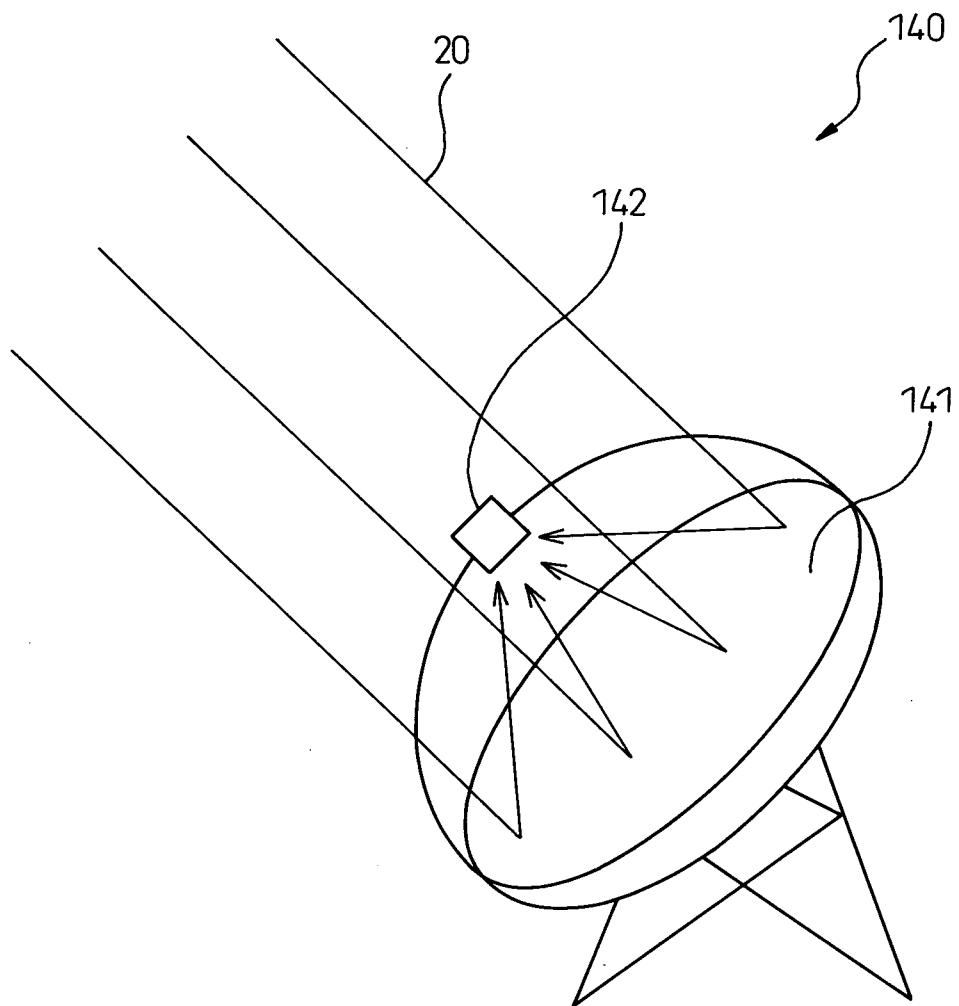


FIG.3

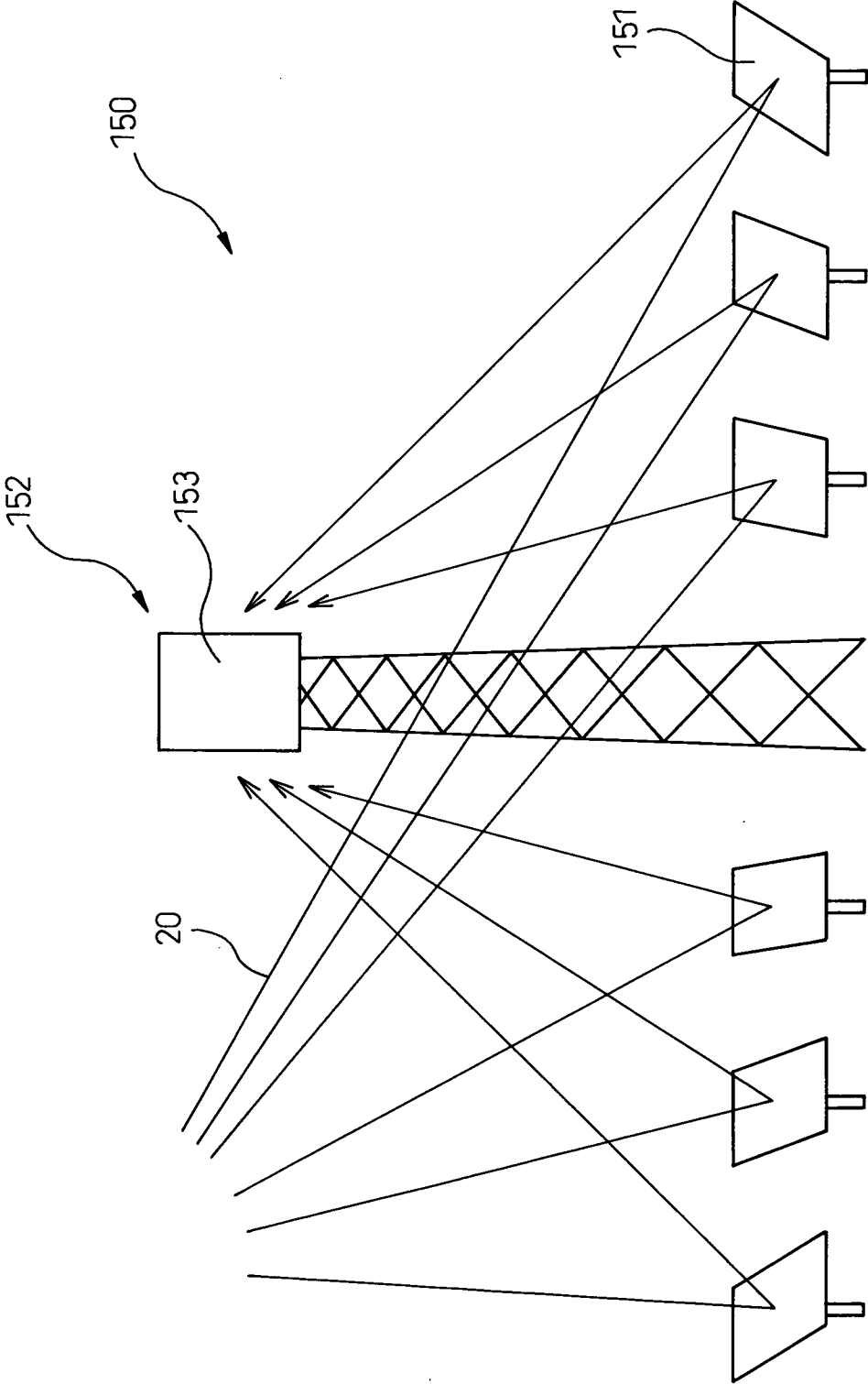
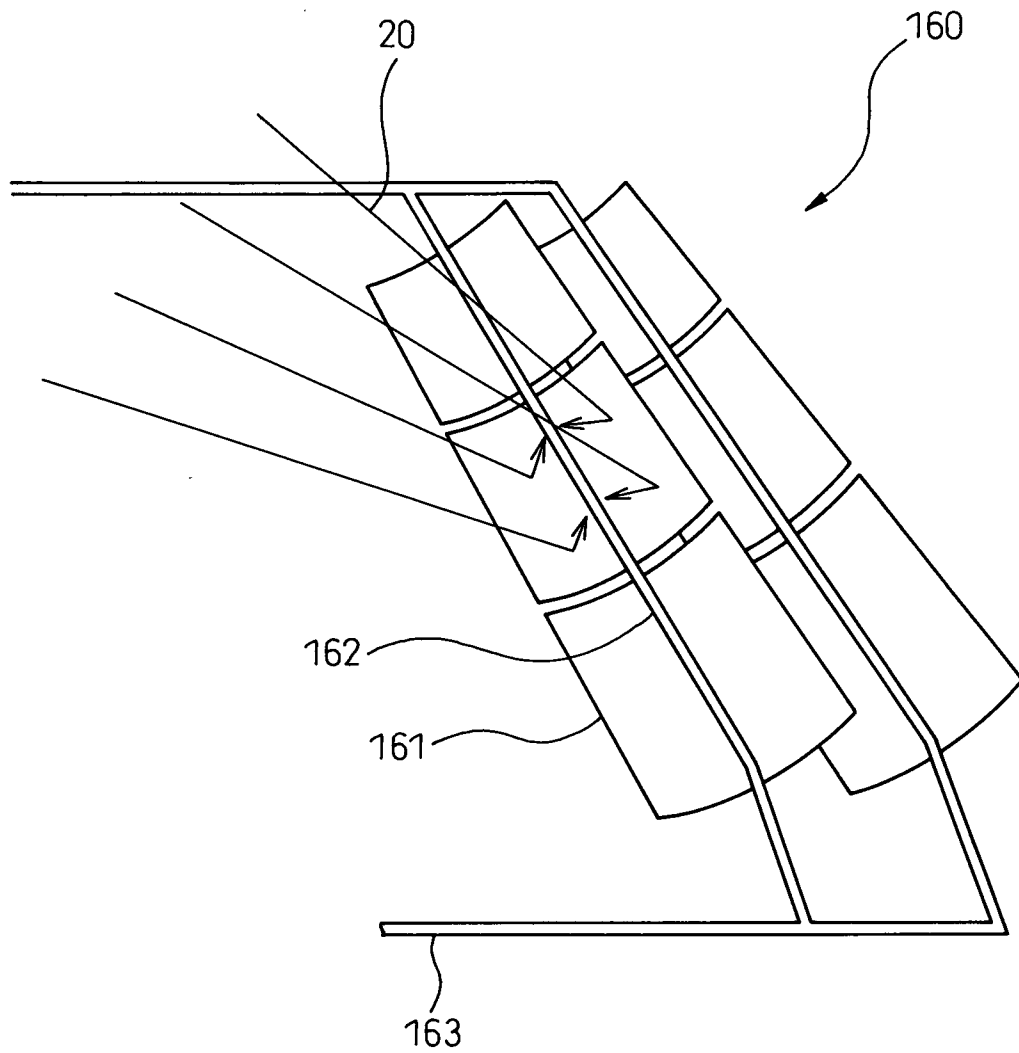


FIG.4



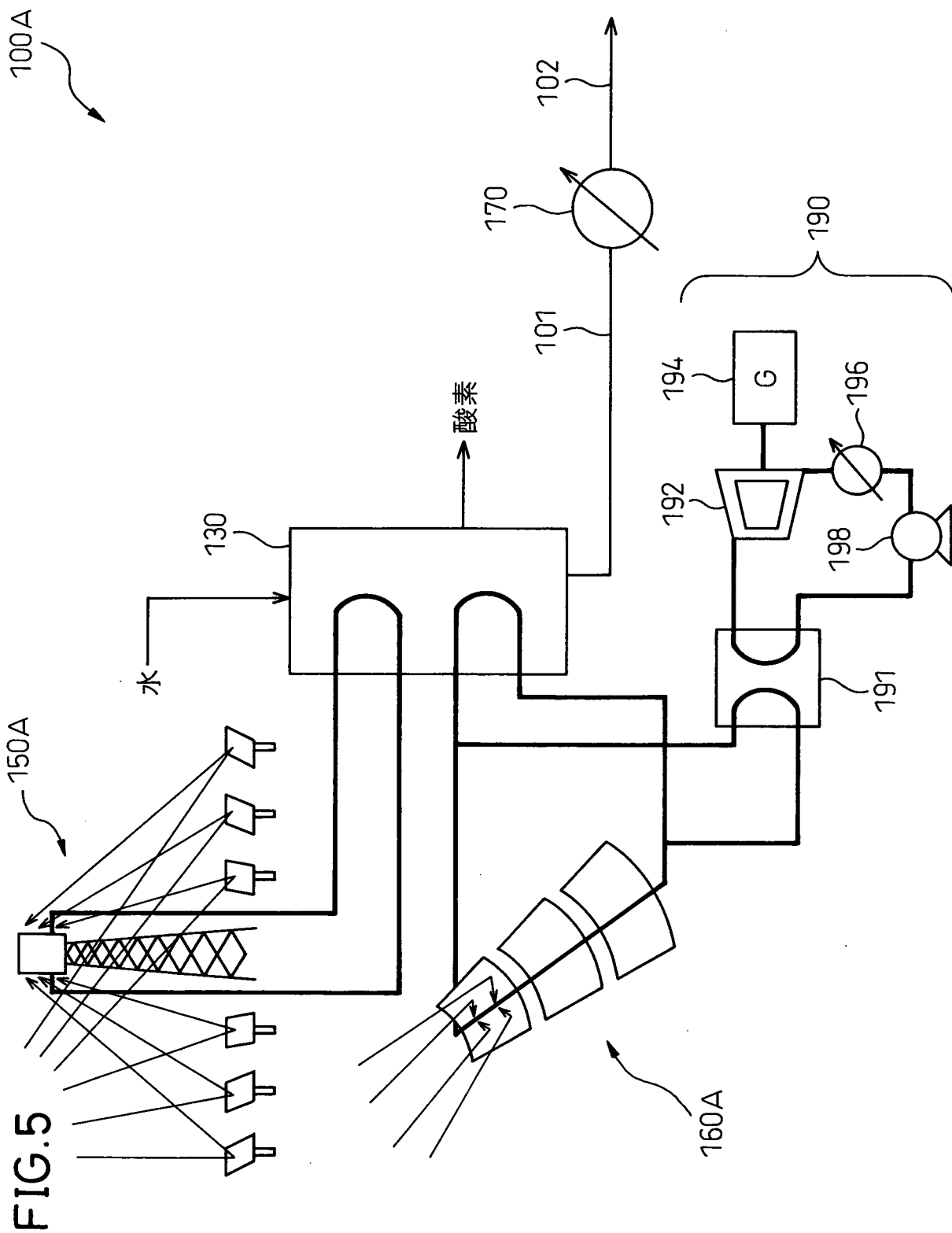
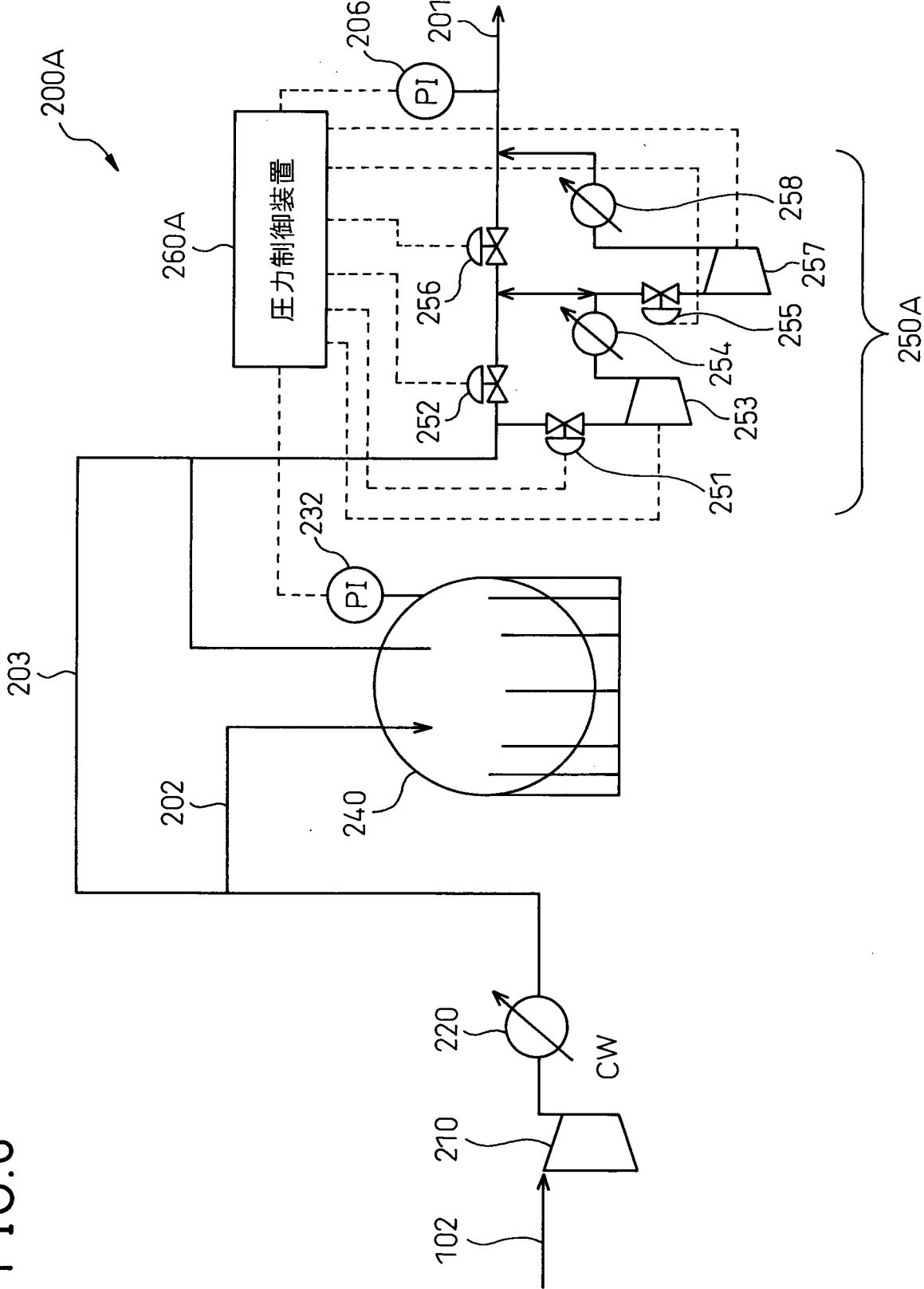


FIG.6



**FIG. 7**

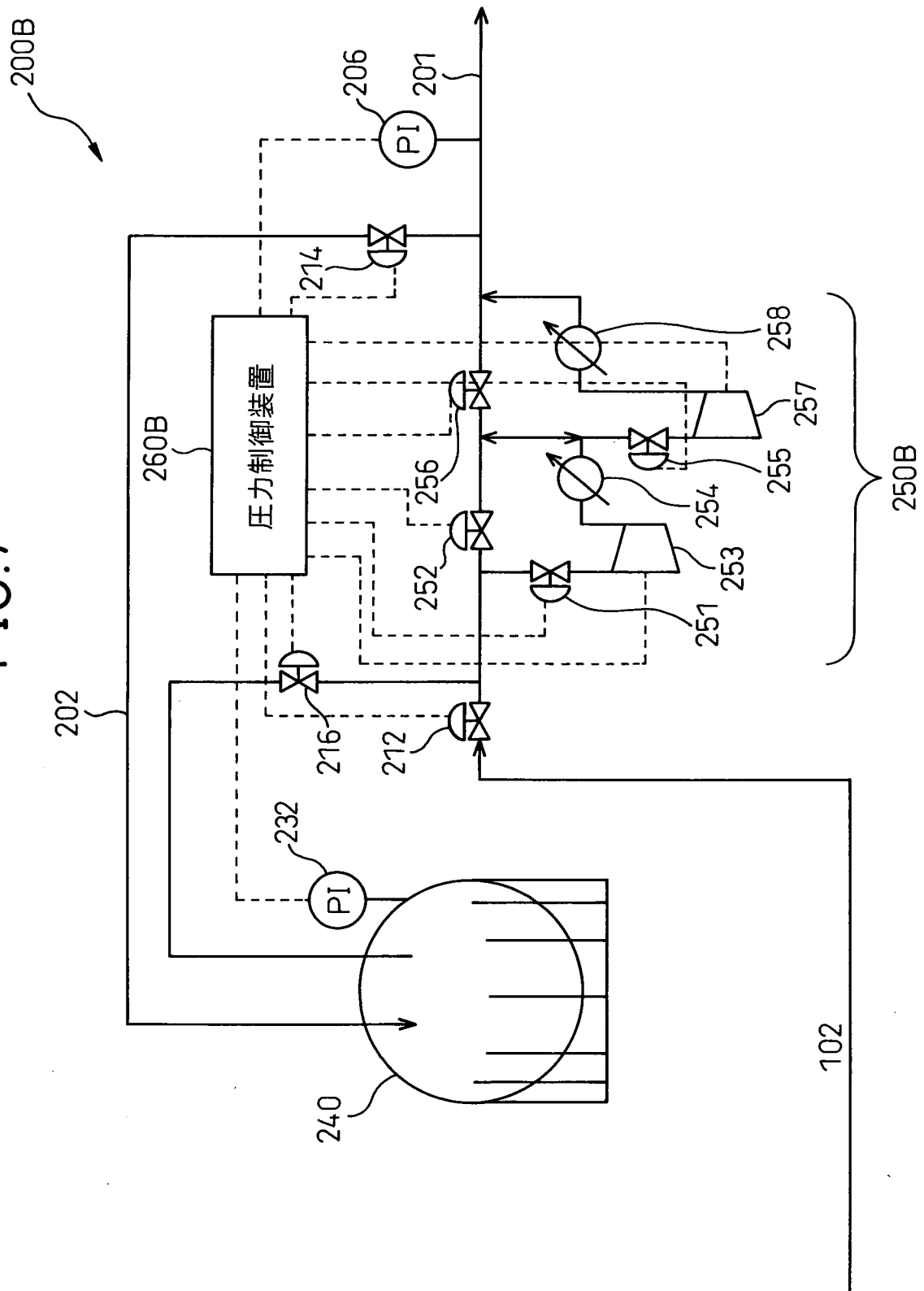


FIG.8

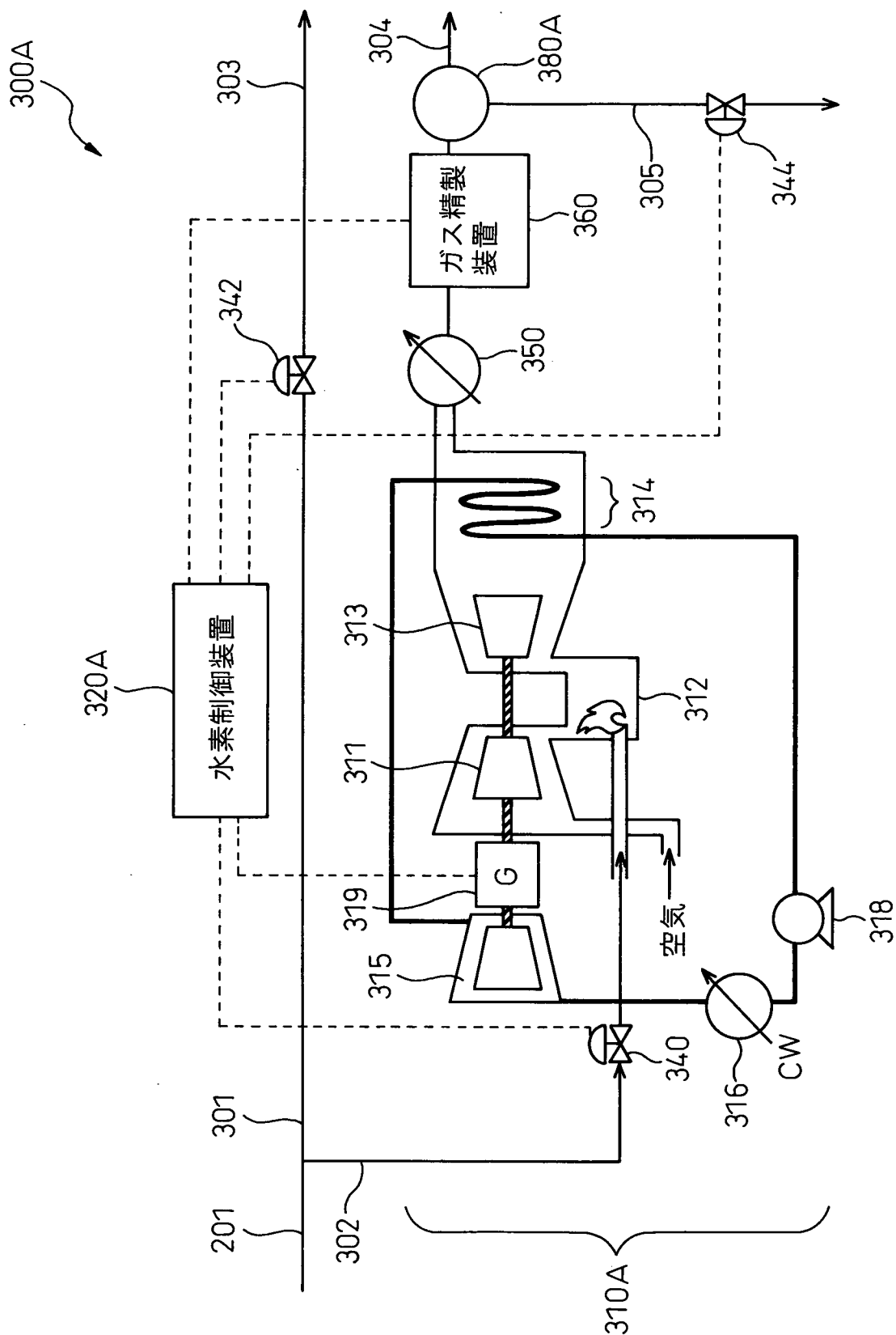
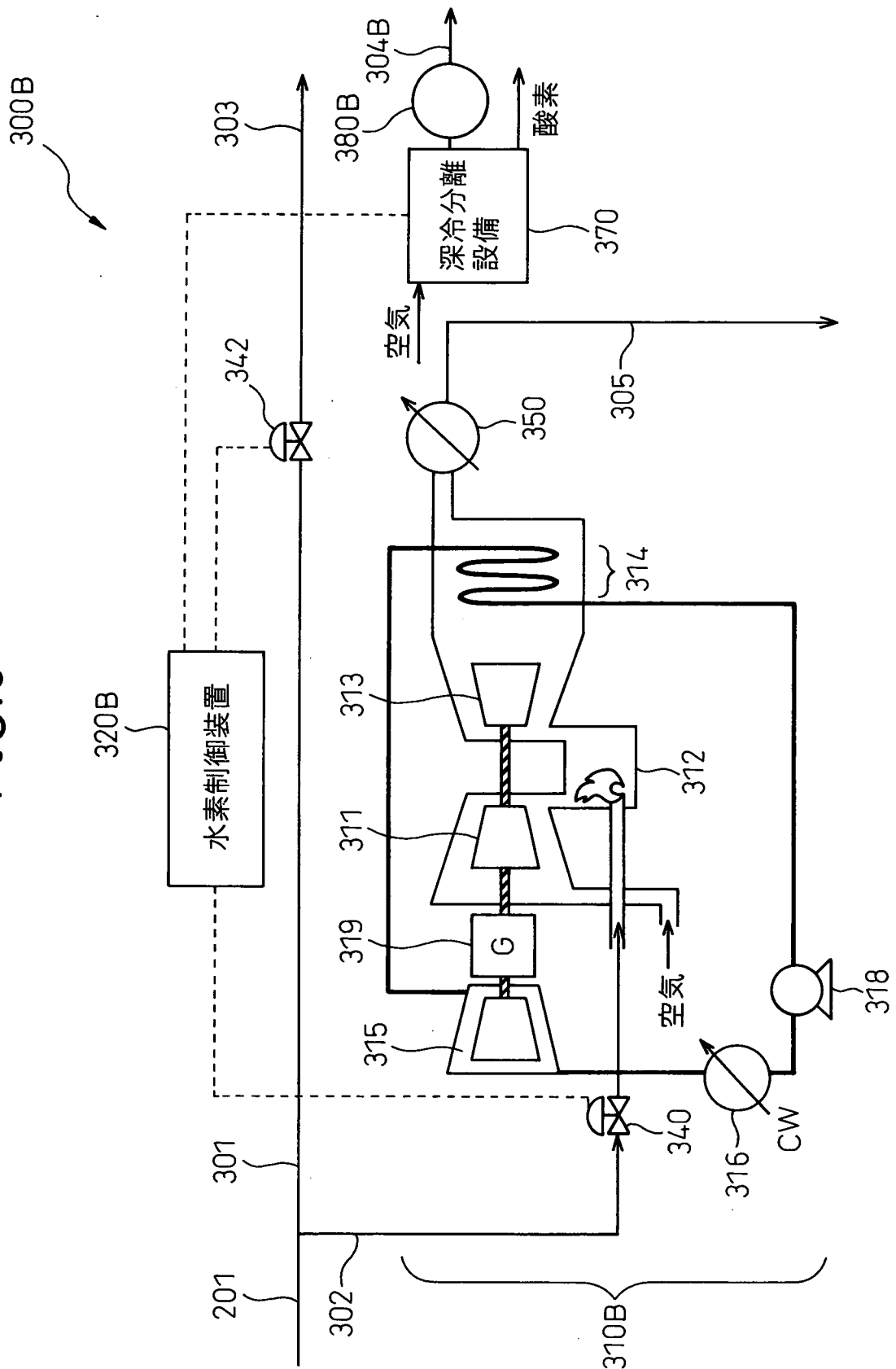
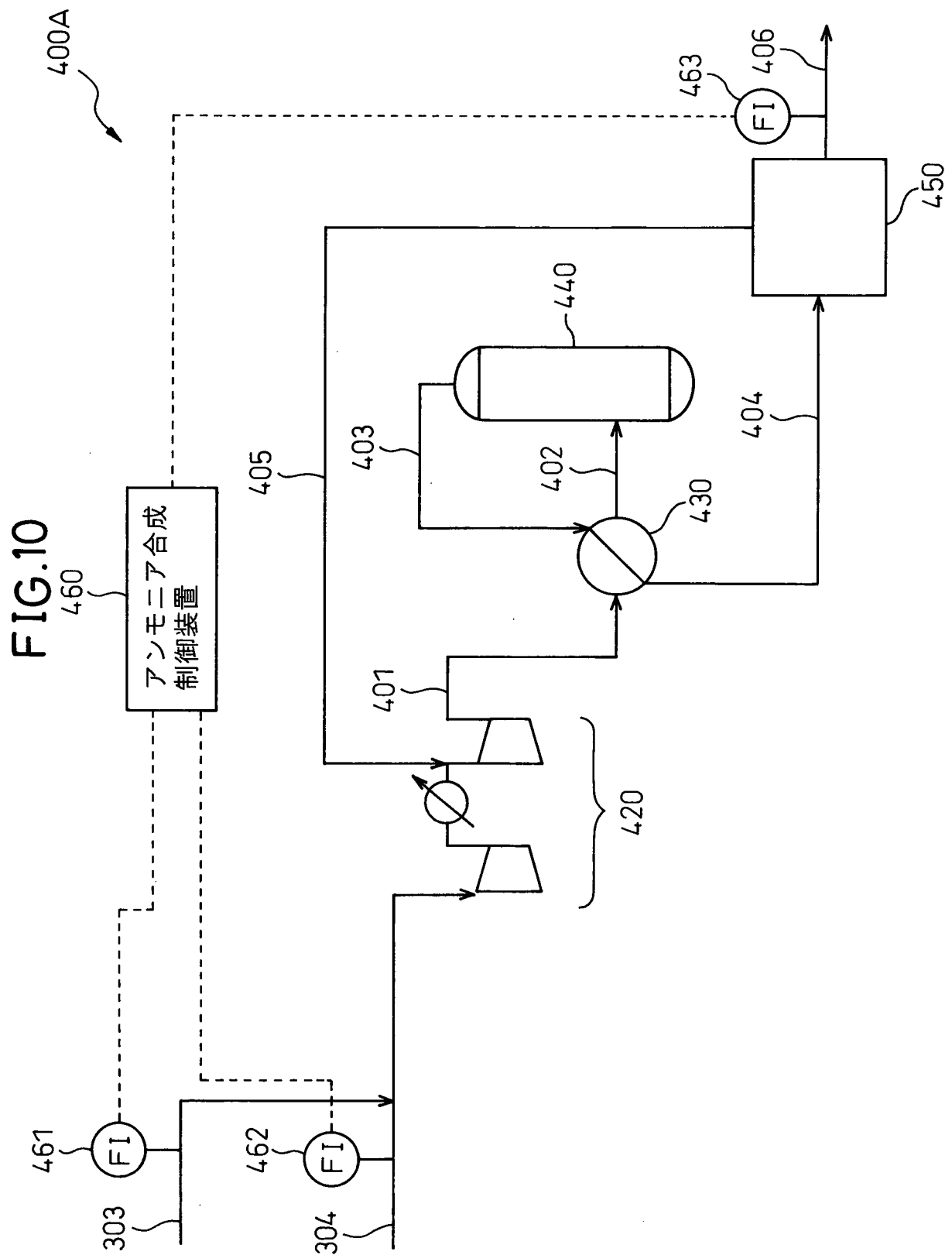


FIG. 9





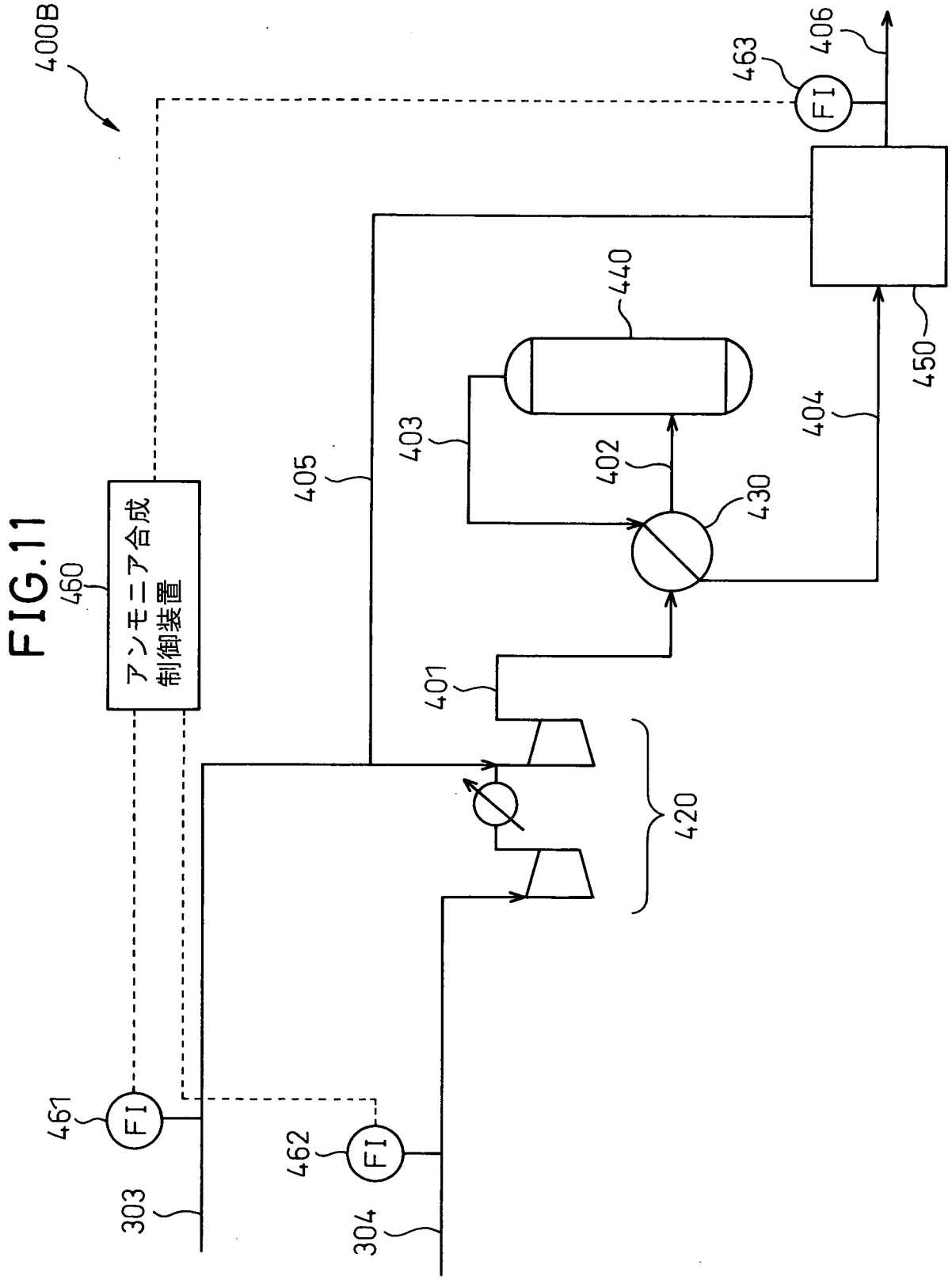


FIG.12

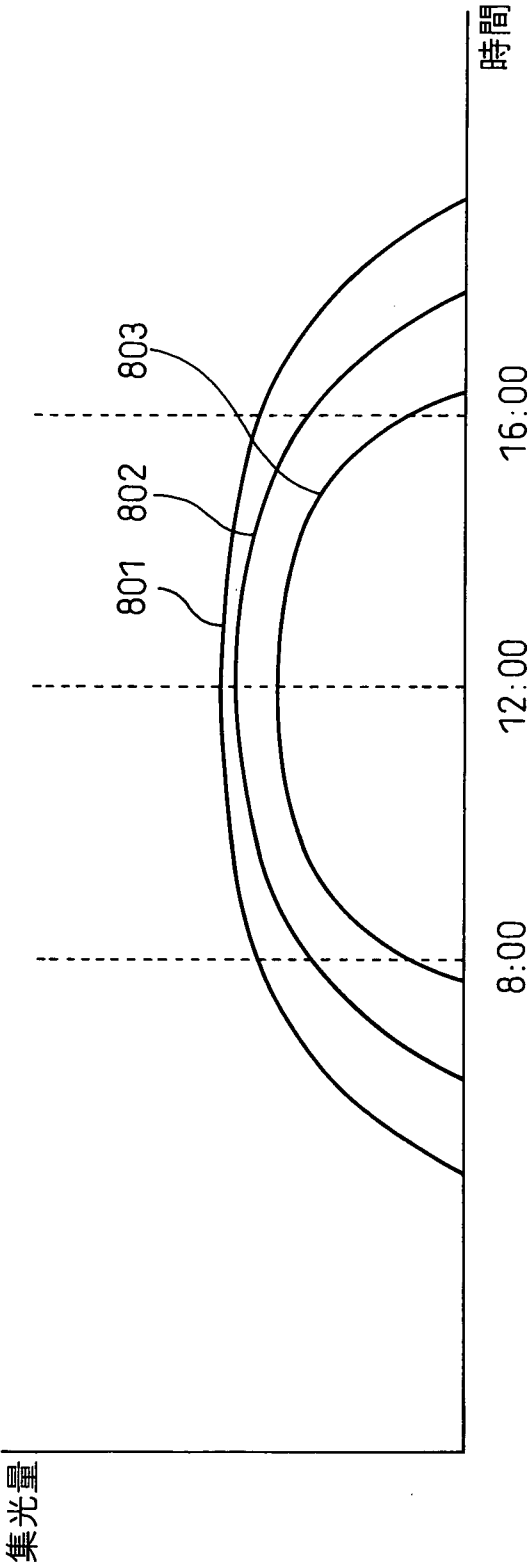


FIG.13

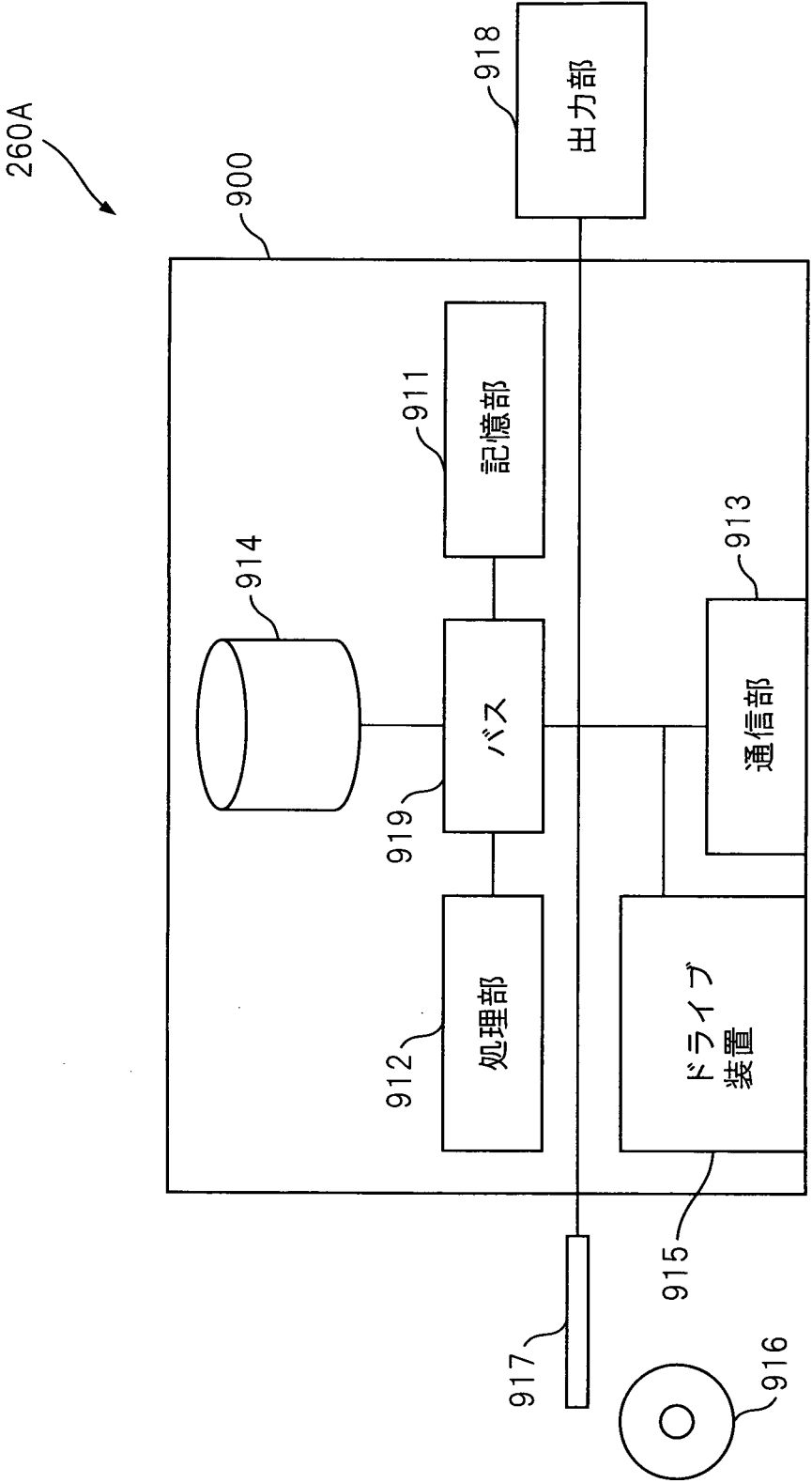


FIG.14

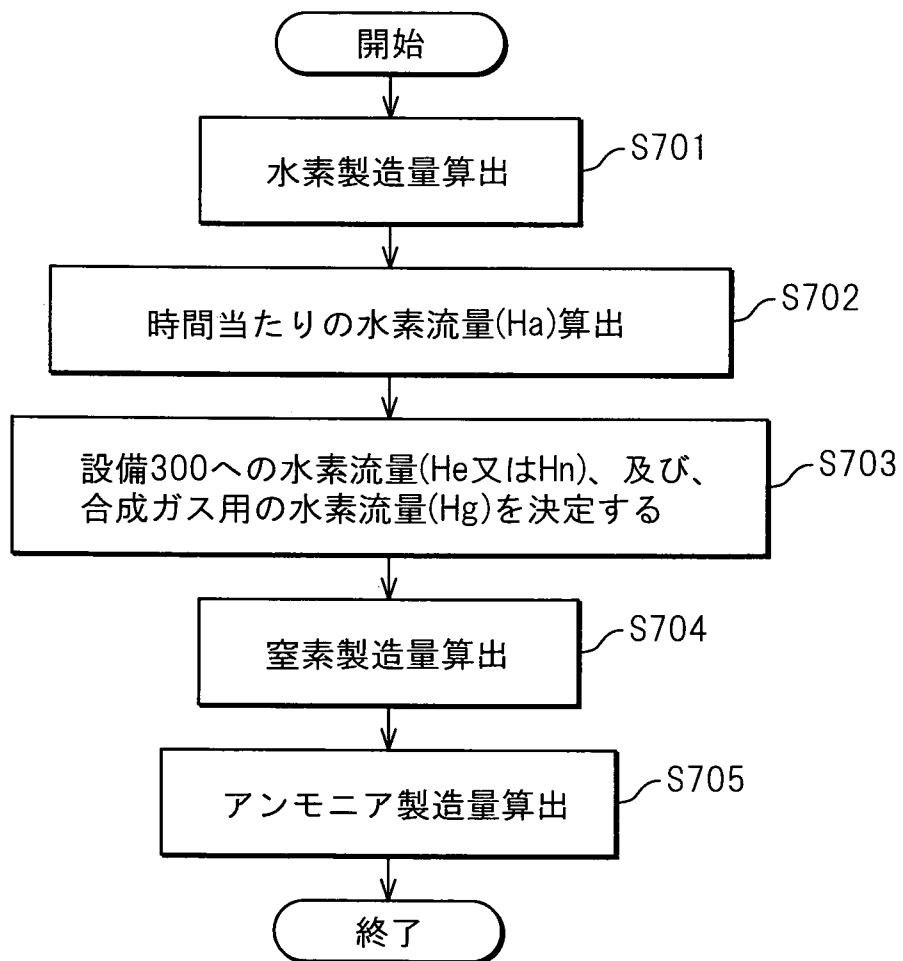


FIG.15

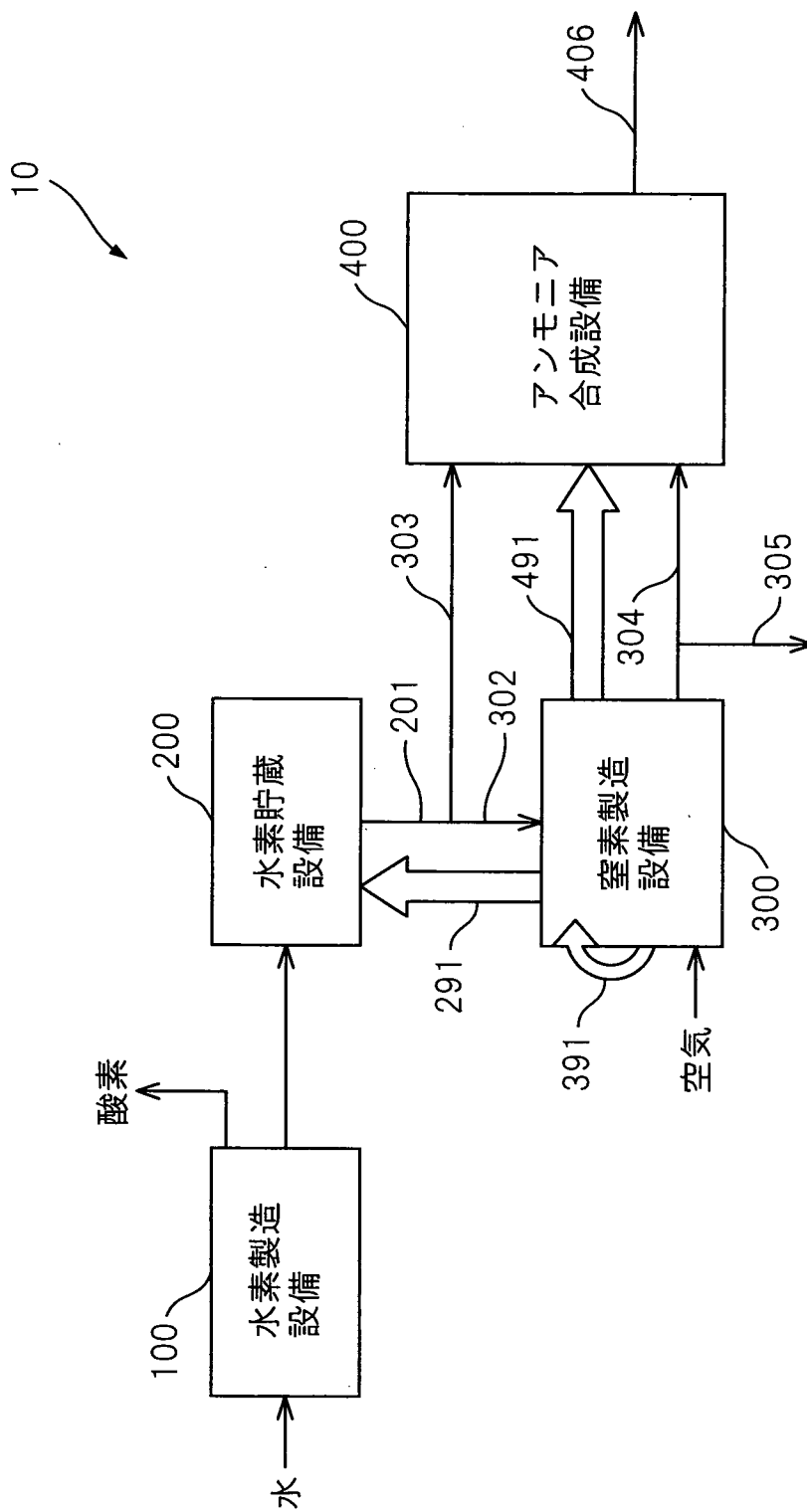
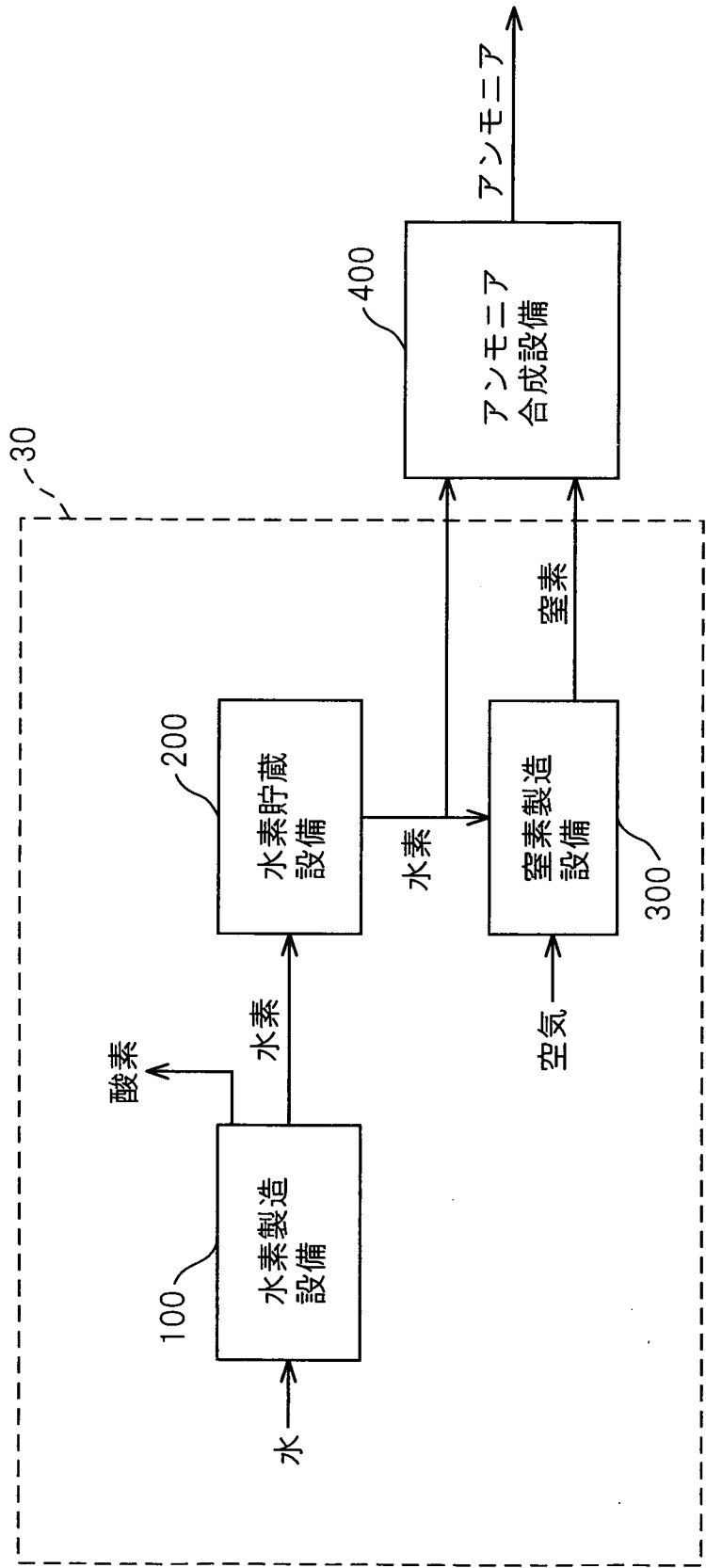


FIG.16

801

|          | 201       | 302       | 303       | 304       | 305       | 406     | 291     | 391     | 491     |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|
|          | 水素        | 水素        | 水素        | 窒素        | 窒素        | アンモニア   | 電力      | 電力      | 電力      |
|          | [Nm3/d]   | [Nm3/d]   | [Nm3/d]   | [Nm3/d]   | [Nm3/d]   | [ton/d] | [Mwh/d] | [Mwh/d] | [Mwh/d] |
| ケース<br>A | 7,960,000 | 2,390,000 | 5,570,000 | 1,860,000 | 2,690,000 | 2,500   | 1,298   | -       | 1,015   |
| ケース<br>B | 7,570,000 | 2,000,000 | 5,570,000 | 1,860,000 | 1,940,000 | 2,500   | 1,298   | -       | 634     |
| ケース<br>C | 8,480,000 | 2,910,000 | 5,570,000 | 1,860,000 | 3,680,000 | 2,500   | 1,298   | 502     | 1,015   |

FIG.17



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/057918

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C01C1/04 (2006.01) i, C01B21/02 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C01C1/04, C01B21/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2010

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JDreamII), WPI

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                  | Relevant to claim No.             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Y         | LUZZI, A. et al, TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF A 10 MWe SOLAR THERMAL POWER PLANT USING AMMONIA-BASED THERMOCHEMICAL ENERGY STORAGE, Solar Energy, 1999.06, Vol.66, No.2, p.91-101, doi:10.1016/S0038-092X(98)00108-X | 1-28                              |
| Y         | JP 2005-200245 A (Honda Motor Co., Ltd.), 28 July 2005 (28.07.2005), claims; paragraphs [0001], [0006], [0022]; fig. 1 (Family: none)                                                                               | 1-28                              |
| Y         | JP 2002-520533 A (Norsk Hydro ASA.), 09 July 2002 (09.07.2002), claim 10; paragraphs [0002] to [0004]; fig. 2 & US 6505467 B1 & EP 1105625 A1 & WO 2000/003126 A1                                                   | 3, 7-9, 13, 14, 17, 21-23, 27, 28 |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

02 August, 2010 (02.08.10)

Date of mailing of the international search report

10 August, 2010 (10.08.10)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/057918

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                   | Relevant to claim No. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | KREETZ, H. et al, Maximizing Thermal Power Output of an Ammonia Synthesis Reactor for a Solar Thermochemical Energy Storage System, Journal of Solar Energy Engineering, 2001.05, Vol.123, No.2, p.75-82, doi:10.1115/1.1352737                      | 4-6, 8, 18-20, 22     |
| Y         | JP 61-153136 A (Foster Wheeler Energy Corp.), 11 July 1986 (11.07.1986), page 2, upper right column, line 11 to lower left column, line 9; page 3, upper right column, lines 2 to 17; fig. 1 to 4<br>& US 4668494 A & IN 164537 A<br>& AU 4890985 A1 | 10, 24                |
| A         | APPL, M., Ammonia, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, John Wiley & Sons, Inc., 2006, p.44, 45, 52, 62, 63, 79, 80, 84, 85, 98-109, DOI:10.1002/14356007.a02_143.pub2                                                                    | 1-28                  |
| A         | JP 2000-178467 A (Shimadzu Corp.), 27 June 2000 (27.06.2000), paragraphs [0003], [0006], [0008], [0010], [0014]; fig. 4<br>(Family: none)                                                                                                            | 1-28                  |
| A         | JP 5-9769 A (Haruo ARASHI), 19 January 1993 (19.01.1993), claim 1; paragraph [0001], [00011], [0012], [0015], [0016]; fig. 1<br>(Family: none)                                                                                                       | 1-28                  |
| A         | JP 2008-508184 A (Fluor Technologies Corp.), 21 March 2008 (21.03.2008), entire text<br>& EP 1778585 A2 & WO 2006/015231 A2<br>& CA 2574877 A1 & CN 101102965 A                                                                                      | 1-28                  |
| A         | JP 62-502610 A (Schick Josef Hubert), 08 October 1987 (08.10.1987), entire text<br>& EP 215930 A1 & WO 1986/005769 A1<br>& DE 3511191 A1 & RU 2042607 C1                                                                                             | 1-28                  |
| P, A      | JP 2010-159194 A (Toyota Motor Corp.), 22 July 2010 (22.07.2010), entire text<br>(Family: none)                                                                                                                                                      | 1-28                  |
| P, A      | WO 2009/104813 A1 (Toyota Motor Corp.), 27 August 2009 (27.08.2009), entire text<br>& JP 2009-197734 A                                                                                                                                               | 1-28                  |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2010/057918

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                           | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| P, A      | WO 2009/104820 A1 (Toyota Motor Corp.),<br>27 August 2009 (27.08.2009),<br>entire text<br>& JP 2009-197733 A | 1-28                  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                     |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------|
| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））<br>Int.Cl. C01C1/04(2006.01)i, C01B21/02(2006.01)i                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                     |                |
| B. 調査を行った分野<br>調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））<br>Int.Cl. C01C1/04, C01B21/02                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                     |                |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの<br>日本国実用新案公報 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年<br>日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2 0 1 0 年<br>日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 1 0 年<br>日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 1 0 年                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                     |                |
| 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）<br>JSTPlus(JDreamII), WPI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                     |                |
| C. 関連すると認められる文献                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                     |                |
| 引用文献の<br>カテゴリー*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                                                                                                                   |                                                                     | 関連する<br>請求項の番号 |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | LUZZI, A. et al, TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF A 10 MWe SOLAR THERMAL POWER PLANT USING AMMONIA-BASED THERMOCHEMICAL ENERGY STORAGE, Solar Energy, 1999.06, Vol.66, No.2, p.91-101, doi:10.1016/S0038-092X(98)00108-X |                                                                     | 1-28           |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | JP 2005-200245 A（本田技研工業株式会社）2005.07.28, 特許請求の範囲、段落【0001】，【0006】，【0022】，図1（ファミリーなし）                                                                                                                                  |                                                                     | 1-28           |
| <input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                     |                |
| * 引用文献のカテゴリー<br>「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの<br>「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの<br>「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）<br>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献<br>「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献<br>「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの<br>「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの<br>「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの<br>「&」 同一パテントファミリー文献 |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                     |                |
| 国際調査を完了した日<br>0 2 . 0 8 . 2 0 1 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                     | 国際調査報告の発送日<br>1 0 . 0 8 . 2 0 1 0                                   |                |
| 国際調査機関の名称及びあて先<br>日本国特許庁（I S A / J P）<br>郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5<br>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                     | 特許庁審査官（権限のある職員）<br>大城 公孝<br>電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 1 6 | 4 G 4 4 8 8    |

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                                                                                                                 |                                   |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                                                                                                                               | 関連する<br>請求項の番号                    |
| Y                     | JP 2002-520533 A (ノルスク・ヒドロ・アーエスアー) 2002.07.09, 請求項 1 O, 【0002】－【0004】, 図 2 & US 6505467 B1 & EP 1105625 A1 & WO 2000/003126 A1                                                                                                  | 3, 7-9, 13, 14, 17, 21-23, 27, 28 |
| Y                     | KREETZ, H. et al, Maximizing Thermal Power Output of an Ammonia Synthesis Reactor for a Solar Thermochemical Energy Storage System, Journal of Solar Energy Engineering, 2001.05, Vol.123, No.2, p.75-82, doi:10.1115/1.1352737 | 4-6, 8, 18-20, 22                 |
| Y                     | JP 61-153136 A (フオスター・ホイーラー・エナジー・コーポレイション) 1986.07.11, 第 2 頁右上欄第 1 1 行－左下欄第 9 行、第 3 頁右上欄第 2 行－1 7 行、第 1－4 図 & US 4668494 A & IN 164537 A & AU 4890985 A1                                                                        | 10, 24                            |
| A                     | APPL, M., Ammonia, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, John Wiley & Sons, Inc., 2006, p.44, 45, 52, 62, 63, 79, 80, 84, 85, 98-109, DOI:10.1002/14356007.a02_143.pub2                                               | 1-28                              |
| A                     | JP 2000-178467 A (株式会社島津製作所) 2000.06.27, 段落【0003】, 【0006】, 【0008】, 【0010】, 【0014】, 図 4 (ファミリーなし)                                                                                                                                | 1-28                              |
| A                     | JP 5-9769 A (嵐治夫) 1993.01.19, 請求項 1、段落【0001】, 【00011】, 【0012】, 【0015】, 【0016】、図 1 (ファミリーなし)                                                                                                                                     | 1-28                              |
| A                     | JP 2008-508184 A (フルオー・テクノロジーズ・コーポレイション) 2008.03.21, 全文 & EP 1778585 A2 & WO 2006/015231 A2 & CA 2574877 A1 & CN 101102965 A                                                                                                    | 1-28                              |
| A                     | JP 62-502610 A (シツク・ヨーゼフ・フーベルト) 1987.10.08, 全文 & EP 215930 A1 & WO 1986/005769 A1 & DE 3511191 A1 & RU 2042607 C1                                                                                                               | 1-28                              |
| P, A                  | JP 2010-159194 A (トヨタ自動車株式会社) 2010.07.22, 全文 (ファミリーなし)                                                                                                                                                                          | 1-28                              |
| P, A                  | WO 2009/104813 A1 (トヨタ自動車株式会社) 2009.08.27, 全文 & JP 2009-197734 A                                                                                                                                                                | 1-28                              |
| P, A                  | WO 2009/104820 A1 (トヨタ自動車株式会社) 2009.08.27, 全文 & JP 2009-197733 A                                                                                                                                                                | 1-28                              |