

第6章 工場概念設計

6.1 概念設計の前提条件

6.1.1 生産概要

依蘭炭を NEDOL 石炭直接液化法を用いて、石炭処理量 5,000t/d (乾炭基準) の液化プラントで液化し、90 号無鉛ガソリンとディーゼル軽油 (夏季は凝固点 0 号、冬季は -35 号) を生産する。

6.1.2 原料条件

液化用、水素製造用、自家発電用として依蘭炭鉱の石炭を使用する。また、液化用触媒として西林鉱山の硫化鉄を使用する。

(1) 石炭

(a) 依蘭炭を以下の 3 用途に使用する。

液化用原料 (乾炭基準、灰分 10wt% 以下の精炭)

水素製造用原料 (乾炭基準、灰分 10wt% 以下の精炭)

自家発電用燃料 (乾炭基準、灰分 69wt% のボタ)

液化用石炭、水素製造用石炭、自家発電用石炭の性状を表 6-1 に示す。

(b) 灰分 10wt% 以下の精炭の選炭は炭鉱側で行う。

(c) 石炭の輸送は炭鉱側で行う。

(2) 硫化鉄

(a) 西林鉱山の硫化鉄を石炭 (乾炭基準) に対し液化触媒として 4.3wt%、215t/d を添加する。

(b) 硫化鉄の輸送は鉱山側が行う。

(c) なお、助触媒として硫黄を液化反応工程では石炭 (乾炭基準) に対し 0.96wt%、また、溶剤水素化工程では循環溶剤に対し 0.1wt% を添加する。

6.1.3 製品条件

(1) 製品の種類

製品はガソリンとディーゼル軽油を生産する。灯油は生産しない。

ガソリンは 90 号無鉛ガソリンとする。品質指標は中国 SINOPEC 基準 SH-0041-93 とする (表 6-2)。

ディーゼル軽油はセタン価 40 以上、製造期間 4～9 月は凝固点 0 号、10～3 月は -35 号とする。品質指標は中国国家基準 GB252-94 の最新改訂稿とする（表 6-3）。

副製品は LPG、アンモニア、粗製フェノール、硫黄を生産する。

(2) 貯蔵と出荷

主製品のガソリン、ディーゼル軽油の貯蔵量は各 10 日分とする。その出荷は石炭液化工場出口の積み渡しとする。

6.1.4 用地、気象条件

(1) 用地の状況

液化工場建設想定地点は松花江に直距離で 2.5km の平坦地である。未利用地で埋設物などの障害物もない。

(2) 気象条件

寒冷地。概ね、無霜期間は 4～10 月、凍結発生期間は 11 月～3 月である。

6.1.5 用役条件

(1) 電力・蒸気

電力は依蘭炭（ポタ）を用いて自家発電し、蒸気も併産するが、公共変電所とも接続し予備電源とする。

(2) 用水

(a) 原水を松花江から取水する。ハルピン気化廠の取水地点と同じ地点で取水する。取水地点から石炭液化工場まで 13km のパイプラインを新設する。

(b) 原水を自家処理し、冷却水、純水、飲料水を製造する。

(c) 石炭液化工場から松花江までの排水パイプラインを新設する。

(3) 燃料

(a) 工場で燃料を使用する設備のうち、自家発電ボイラ設備のみが石炭焚である。

(b) 他の加熱炉等はすべてガス燃料を使用する。ガス燃料はプラントで副生する軽質ガスを洗浄した清浄なガスで、組成は C_1 、 C_2 ガスである。

(c) なお、 C_3 、 C_4 は LPG として回収し、外販する。

(4) 窒素

石炭ガス化水素製造設備内の酸素製造設備で併産する窒素を供給する。

6.2 基本プロセス

6.2.1 NEDOL 法石炭直接液化法の特徴

NEDOL 法は日本の新エネルギー・産業技術総合開発機構が通商産業省工業技術院のサンシャイン計画の一つとして、開発した技術である。

NEDOL 法は原料石炭微粉に高活性の鉄系微粉触媒を加え、水素供与性に富む溶剤によりスラリー化し、比較的穏和な液化反応条件下で高い液化油収率を得ることに特徴がある。

NEDOL 法は重瀝青炭から石炭化度の低い瀝青炭までの広範囲の石炭について適用できることが確認されている。

6.2.2 NEDOL 法プロセスの概略説明

NEDOL 法の概略プロセスフローを図 6-1 に示す。

石炭は硫化鉄触媒とともに微粉とし、水素化溶剤と混合して石炭スラリーとする。スラリー中の石炭は液化反応設備の液化反応塔で液化する。反応生成物は液化蒸留設備で蒸留分離される。

そのうちのナフサ留分、常圧軽油留分（灯油留分を含む）はアップグレーディング工程に行き、品質を高め、ガソリン、ディーゼル軽油製品となる。

循環溶剤留分は溶剤水素化設備で水素供与性を高めた後、石炭前処理設備で石炭、硫化鉄の微粉と混合して石炭スラリーを作る。

液化油蒸留設備の塔底から出る液化残渣は石炭ガス化水素製造の原料になる。

6.3 プロセスユニットの概念設計

6.3.1 石炭液化反応の前提条件

本 F/S における石炭液化反応条件は、NEDOL 法の特徴と中国側の意向（特に、液化油収率をできるだけ高くすること）を考慮して、1t/d PSU における依蘭炭液化試験条件のうちの「50%Max 条件」とする。

採用した液化反応主要条件を表 6-4 に示す。

図 6-2 に石炭液化プラントのブロックフローを示す。

6.3.2 液化収率

PSU による依蘭炭液化試験の結果では油収率（ $C_4-538^\circ\text{C}$ ）は 60.58wt%であった。

PSU データと液化反応シミュレータを用いて、本 F/S の概念設計の液化反応塔出口における液化収率を計算した。本 F/S における油収率（ $C_4-538^\circ\text{C}$ ）は 59.31wt%であった。

6.3.3 石炭の所要量

液化用原料	5,000t/d
水素製造用原料	1,836t/d
自家発電用燃料	5,856t/d

6.3.4 製品の生産量と収率

製品の生産量と収率は以下の通りである。

	ガソリン	ディーゼル軽油	合計
生産量 (t/d)	898	1,385	2,283
収率(wt%、無水無灰基準)	19.9	30.8	50.7

6.3.5 プロセスユニットの概念設計

石炭前処理設備、液化反応設備、液化油蒸留設備、溶剤水素化設備、液化粗油アップグレーディング設備についてプロセスフロー図を作成し、物質収支、エネルギー・用役の要求を計算した。

6.4 プラントの概要

6.4.1 プラント構成と概要

石炭液化プラントは、プロセスユニット、用役設備、原料受入・貯蔵・製品出荷設備、第1次付帯設備、第2次付帯設備から構成される。

(1) プロセスユニット

- (a) 石炭前処理設備 : 2 系列、原料石炭処理量 208,333 drykg/h
- (b) 液化反応設備 : 2 系列、液化反応塔は 2 塔直列、気泡塔、石炭スラリー供給量 429,607kg/h
- (c) 液化油蒸留設備 : 1 系列、液化油処理量 387,642kg/h
- (d) 溶剤水素化設備 : 1 系列、溶剤水素化反応塔は 3 塔並列、固定床反応塔供給量 212,592kg/h

以上の 4 設備のプロセスフローを図 6-3、図 6-4、図 6-5、図 6-6 に示す。

(e) アップグレーディング設備

- ①一次水素化設備 : 1 系列、一次水素化反応塔は 2 塔直列、固定床反応塔供給量 97,314kg/h
- ②ナフサ留分二次水素化設備 : 1 系列、ナフサ二次水素化反応塔は 2 塔直列、固定床反応塔供給量 35,000kg/h

③ナフサ留分接触改質設備 : 1 系列、接触改質反応塔は 1 塔 4 段、移動床、連続再生式、反応塔供給量 34,203kg/h

④灯軽油留分二次水素化設備 : 1 系列、灯軽油二次水素化反応塔は 2 塔直列、固定床反応塔供給量 60,339kg/h

液化粗油アップグレーディング設備プロセスフローを図 6-7 に示す。

(2) 用役設備

- (a) 自家発電設備 : 循環流動層石炭ボイラ 2 基、
発電出力 165,000kW、供給電力量 151,389kW、
高圧蒸気 (45kg/cm²G) 133t/h、中圧蒸気 (15kg/cm²G) 104t/h
- (b) 受配電設備 : 受配電量 151,389kW
自家発電供給電圧 15kV 周波数 50Hz
公共変電所給電点の受送電圧 110kV 周波数 50Hz
- (c) 圧縮空気設備 : 供給量 3,640Nm³/h、圧力 7kg/cm²G
- (d) 用水設備 : 松花江で 2,110t/h を取水、13km を 1,000mmΦ配管で送水、
原水を凝集沈殿濾過処理後、ボイラ用純水、飲料水を製造、
冷却水は循環水量 50,280t/h、補給水量 1,430t/h

(3) 受入・貯蔵・供給・出荷設備

- (a) 石炭受入・貯蔵・供給設備 : 貯蔵 1 日分
- (b) 硫化鉄受入・貯蔵設備 : 貯蔵 7 日分
- (c) 触媒製造・払出設備 : 製造能力 9.2dry t/h (2.3dry t/h×4 系列)
- (d) 製品・副製品貯蔵・出荷設備 : 製品貯蔵 10 日分、副製品貯蔵 5 日分
- (e) その他貯槽類 : 水素化前溶剤タンク等

(4) 第 1 次付帯設備

(a) 水素製造設備

①水蒸気改質水素製造設備 : 原料ガス処理量 8,156kg/h、水素製造量 3,428kg/h

②石炭ガス化水素製造設備 : HYCOL 法、乾式気流搬送、一室二段旋回流方式噴流床ガス化炉、
処理量 石炭 76,500dry kg/h、液化残渣 64,983dry kg/h
水素製造量 15,865kg/h
改質ガスと石炭ガス化ガスは混合し、同一のガス精製設備で処理する

水素製造設備のブロックフローを図 6-8 に示す。

(b) 副生品回収設備

- ①酸性ガス処理設備 : DEA 法
- ②水素回収設備 : PSA 法
- ③硫黄回収設備 : クラウス法。テールガス処理はスコット法
- ④燃料ガス回収設備 : ガス吸収+脱ブタン+脱エタンプロセス

(c) 排水処理設備 : フェノール・アンモニア・硫化水素・油分の事前処理後に活性汚泥処理。松花江まで 2.5km の排水管を新設

石炭液化工場用水・排水フローを図 6-9 に示す。

(5) 第 2 次付帯設備

- (a) 建屋類 : 主要建屋面積 計 21,900m²
- (b) フレアー設備 : 吹出量 200,000kg/h
- (c) 防消火設備 : 消火栓・散水装置など消火設備、火災監視警報設備
- (d) 共通土木・パイラック : 構内外道路、共通埋設管など

6.4.2 石炭液化プラント全体の自動制御の基本思想

石炭液化プラント全体の自動制御システムは、マイクロプロセッサベースの DCS(Distributed Control System)を採用し、中央制御室と現場制御室から構成する。

安全のための緊急停止には別途、PLC(Programmable Logic Control)を採用し、DCS とは独立して安全を確保する。

中央制御室は石炭液化プラントの運転と制御の中心であり、制御システムの全ての通信装置と必要な信号表示器を備える。

現場制御室は主要な設備ごとに設置される。当該設備の DCS、PLC、無停電電源装置などが設置される。個々に独立し、通常無人である。

プロセス制御と安全に関する全ての電気制御機器は無停電電源装置から電源を供給される。

6.4.3 プラント全体の概略用役使用量

概略用役消費を表 6-5 に示す。

6.4.4 プラント全体の触媒、薬品類

触媒の使用量等について表 6-6、表 6-7、表 6-8 に示す。

薬品類の品目と用途について表 6-9 に示す。

6.4.5 生産品目と生産規模

石炭液化プラントの年間運転稼働日数は330日で計画する。1年目は165日とする。

(1) 製品

ガソリン	898t/d (90号無鉛ガソリン)
ディーゼル軽油	1,385t/d (セタン価40以上、4~9月は0号を生産、10~3月は-35号を生産する)
合計	2,283t/d

(2) 副製品

LPG	407t/d
アンモニア	168t/d
硫黄	80t/d
粗製フェノール	5t/d

6.4.6 総合エネルギー効率

総合エネルギー効率は53.0%である。

総合エネルギー効率は原料、用役、製品、副製品に関する、工場を出る総発熱量の、工場に入る総発熱量に対する比を表す(高位発熱量)。

6.5 レイアウト

敷地総面積は0.81km²、900m四方である。

石炭液化工場レイアウトを図6-10に示す。

表 6-1 石炭液化工場用石炭性状

	液化用依蘭炭		発電用 依蘭炭
	本F/S用	PSU 試験*1	
真比重		1.393	
全水分 [wt%]	15	11.6	5
工業分析 [wt%-dry]			
灰分	≤10	3.27	68.64
揮発分		45.59	
固定炭素	47~50	51.14	
全硫黄 [wt%-dry]	0.3~0.5	0.24	0.4
塩素 [ppm]		370	
ハートケロ-フ指数 [-]		51	
高位発熱量 [kcal/kg]	6,689	7,470	2,069 (低位)
元素分析 [wt%-daf]			
C	78	80.12	
H	5~6	5.86	
N	1.3	1.38	
O (diff)	14	12.42	
S (燃焼性)	0.3~0.5	0.22	
灰分組成 [wt%]			
SiO ₂	49.55	50.43	
Al ₂ O ₃	27.62	27.98	
CaO	3.56	4.98	
Fe ₂ O ₃	14.79	10.49	
MgO	1.12	1.10	
MnO		0.08	
P ₂ O ₅	0.18	0.30	
TiO ₂	1.38	1.30	
K ₂ O	0.16	0.17	
SO ₃	1.05	2.13	
Na ₂ O	0.46	0.05	
灰融点 (酸化雰囲気) [°C]	1,450		
受入石炭粒度 [mm]	≤50		≤50

*1: PSU試験依蘭炭 (1998.9 NEDO/石炭液化PSU 研究レポート-報告)

表 6-2 ガソリン性状

	無鉛ガソリン90号	
	中国規格 SINOPEC基準SH-0041-93	
オクタン価 RON	≧	90
(RON+MON)/2	≧	85
蒸気圧 [kpa]		
9月～2月	≦	88
3月～8月	≦	74
蒸留性状 [°C]		
10% 留出点	≦	70
50% 留出点	≦	120
90% 留出点	≦	190
終点	≦	205
残留量 [vol%]	≦	2
硫黄分 [wt%]	≦	0.15
実在ガム [mg/100cc]	≦	5
銅板腐食 (50°C 3hr)	≦	1

表 6-3 ディーゼル軽油性状

	ディーゼル軽油	
	中国規格 国家基準GB-252-94の最新改訂予定稿	
	0号	-35号
オクタン価	≧ 40	≧ 40
引火点 [°C]	≧ 55	≧ 45
蒸留性状 [°C]		
50% 留出点	≦ 300	≦ 300
90% 留出点	≦ 355	≦ 355
95% 留出点	≦ 365	≦ 365
10%残留炭素分 [wt%]	≦ 0.3	≦ 0.3
密度 [g/cm ³]	実測	実測
硫黄分 [wt%]	≦ 0.2	≦ 0.2
銅板腐食(100°C 3hr)	≦ 1	≦ 1
凝固点 [°C]	≦ 0	≦ -35
目詰まり点 [°C]	≦ 8	≦ -29
動粘度 (20°C) [cst]	3.0~8.0	1.8~7.0
水分 [wt%]	痕跡	痕跡
灰分 [wt%]	≦ 0.01	≦ 0.01

表 6-4 液化反応主要条件

条 件	本 F/S 調査用	備考
反応温度[°C]	465	
反応圧力[kg/cm ² G]	190	
ガス・スラリー比[Nm ³ /t]	900	
石炭スラリー濃度[wt%]	50	
石炭処理量[t/d 乾炭基準]	5,000	
液化触媒	西林硫化鉍	乾炭の 4.3wt%を添加
助触媒	硫黄	乾炭の 0.96wt%を添加

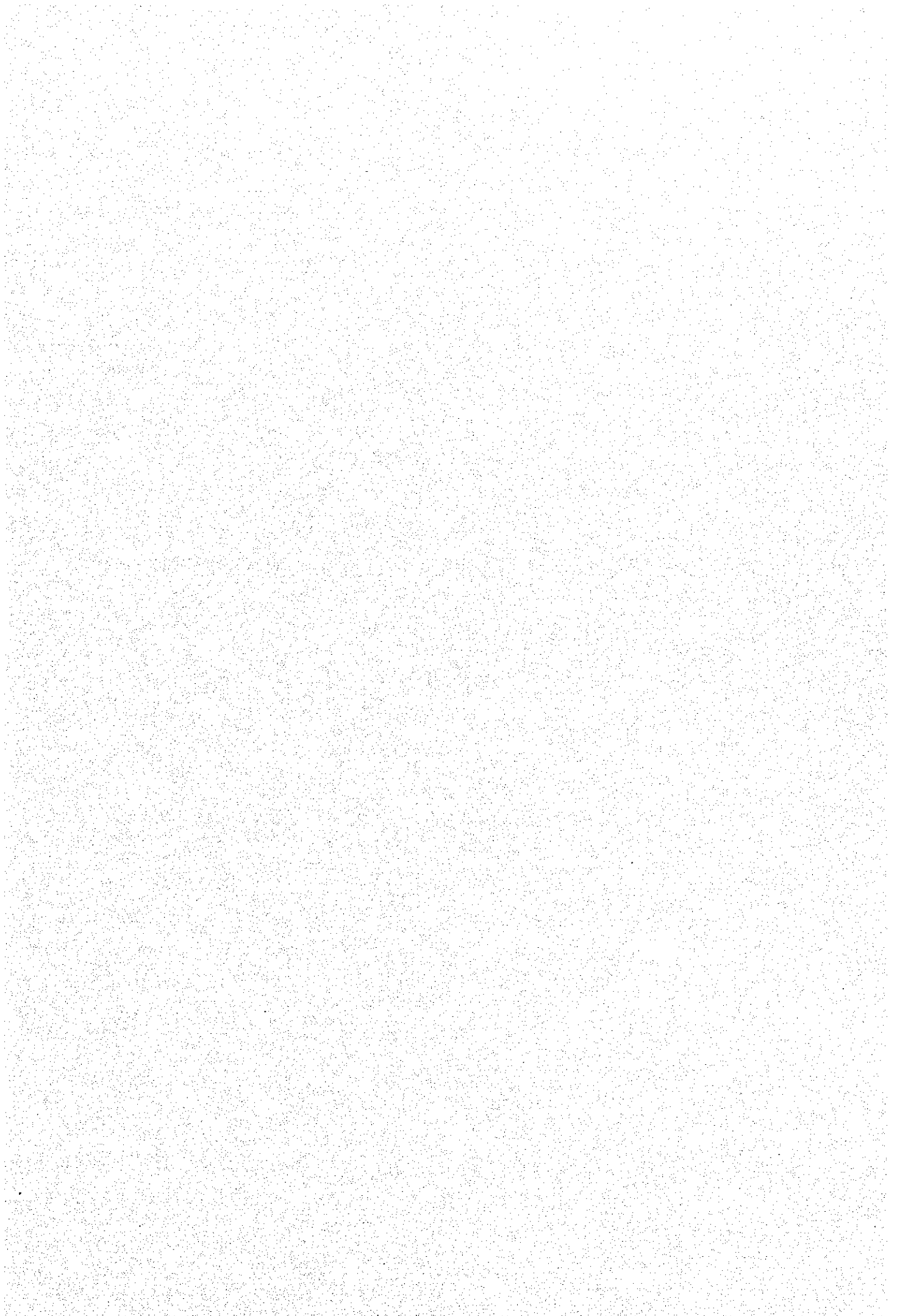


表6-5 概略用役消費

設備区分	電力 [kW]	蒸気 (kg/cm ² G)			用水			燃料ガス [kg/h]	空気 [Nm ³ /h]	窒素 [Nm ³ /h]	
		45	15	5	冷却水	純水	飲料水				
		[t/h]			[t/h]						
プロセスユニット	石炭前処理設備	7,500	0	0	0	3,300	0	0	2,818	500	3,272
	液化反応設備	28,691	0	9	-28	1,754	51	0	2,327	500	0
	液化油蒸留設備	2,467	0	15	0	2,980	0	0	782	500	0
	溶剤水素化設備	7,786	0	20	-25	1,004	40	0	2,082	500	58
	液化粗油アップグレーディング設備	14,300	0	4	-4	240	21	0	3,727	200	0
用役設備	圧縮空気設備	695	0	0	0	33	0	0	0	-3,640	0
	自家発電設備(蒸気製造含む)	-151,389	-133	-104	0	14,000	250	0	0	540	0
	用水設備	11,721	0	0	0	0	0	0	0	5	0
受払貯出	原料受入払出/触媒製造設備	6,434	0	0	0	6	0	0	109	20	99
	製品/副製品貯蔵出荷設備	242	0	0	1	0	0	0	0	0	2,000
付帯設備	石炭ガス化水素製造設備	57,465	133	0	0	22,920	132	0	1,300	500	-5,429
	水蒸気改質水素製造設備	476	0	-7	6	8	100	0	6,164	200	0
	酸性ガス処理設備	480	0	0	22	1,070	0	0	0	20	0
	水素回収設備	13	0	0	0	0	0	0	0	20	0
	硫黄回収設備	360	0	-6	-2	102	8	0	245	50	0
	燃料ガス回収設備	9,000	0	0	4	2,800	4	0	-19,560	50	0
	排水処理設備	3,740	0	69	7	0	0	0	0	30	0
その他設備	19	0	0	0	60	0	5	6	5	0	
合計	0	0	0	-19	50,277	606	5	0	0	0	

注1) 電力 : -[マイナス]表示は発生量を示す。

注2) 蒸気量 : -[マイナス]表示は発生量を示す。

注3) 用水 : 原水取水量は2,110t/h。冷却水は流量(Flow-rate)で表示。

注4) 燃料ガス量: 11,000kcal/kg換算で表示。-[マイナス]表示は燃料ガス回収設備で回収した燃料ガス(11,000kcal/kg換算)を回収ガスとして記入。

表 6-6 液化反応触媒

	主触媒	助触媒
品名	西林鉱山硫化鉄	硫黄（プラント内回収品）
消費量	計画条件 4.3 wt%/dry Coal 5,000 dry t/d × 4.3 wt% =215 dry t/d =247 wet t/d(水分13%)	計画条件 0.96 wt%/dry Coal 5,000 dry t/d × 0.96 wt% =48 dry t/d

表 6-7 溶剤水素化触媒

	主触媒	硫化剤（助触媒）
品名	改良型水素化触媒(CH0401)	硫黄（プラント内回収品）
消費量	—	計画条件 5 dry t/d
初期充填量	計画条件 263 t	—
寿命	約1年	—

表 6-8 アップグレーディング触媒

	一次水素化触媒	灯軽油分 二次水素化触媒	ナフサ留分 二次水素化触媒	ナフサ留分 接触改質触媒
品名	Ni-W担持アルミ ナ触媒	Ni-W担持アルミ ナ触媒	Ni-W担持アルミ ナ触媒	Pt系金属担持アル ミナ触媒
初期充填量	計画条件 240 t	計画条件 145 t	計画条件 45 t	計画条件 20 t
寿命	約1年	約1年	約5年	連続再生使用

表 6-8 その他触媒・薬品類等

品名	用途	水素製造	酸性ガス処理	水素回収	硫黄回収	用水処理	排水処理	防火	軽油調整	備考
脱硫触媒・吸着剤、改質触媒		○								
COシフト, COSシフトコンバータ触媒		○								
酸性ガス処理吸収液 (DEA)			○							
硫黄回収用触媒、テールガス処理液					○					
水素回収PSA吸着剤				○						
殺藻剤 (NaOCl)						○				
凝集沈殿剤 (PAC, Polymer)						○	○			
イオン交換樹脂再生剤 (HCl NaOH)						○				
冷却水処理剤 (スケール分散、防食)						○				
排水フェノール処理剤 (NaOH, CaO)							○			
排水アンモニア処理剤 (Mg(OH) ₂ , H ₃ PO ₄)							○			
排水中和剤 (H ₂ SO ₄ , NaOH)							○			
活性汚泥, 活性炭							○			
泡消火剤								○		
セタン価向上剤									○	

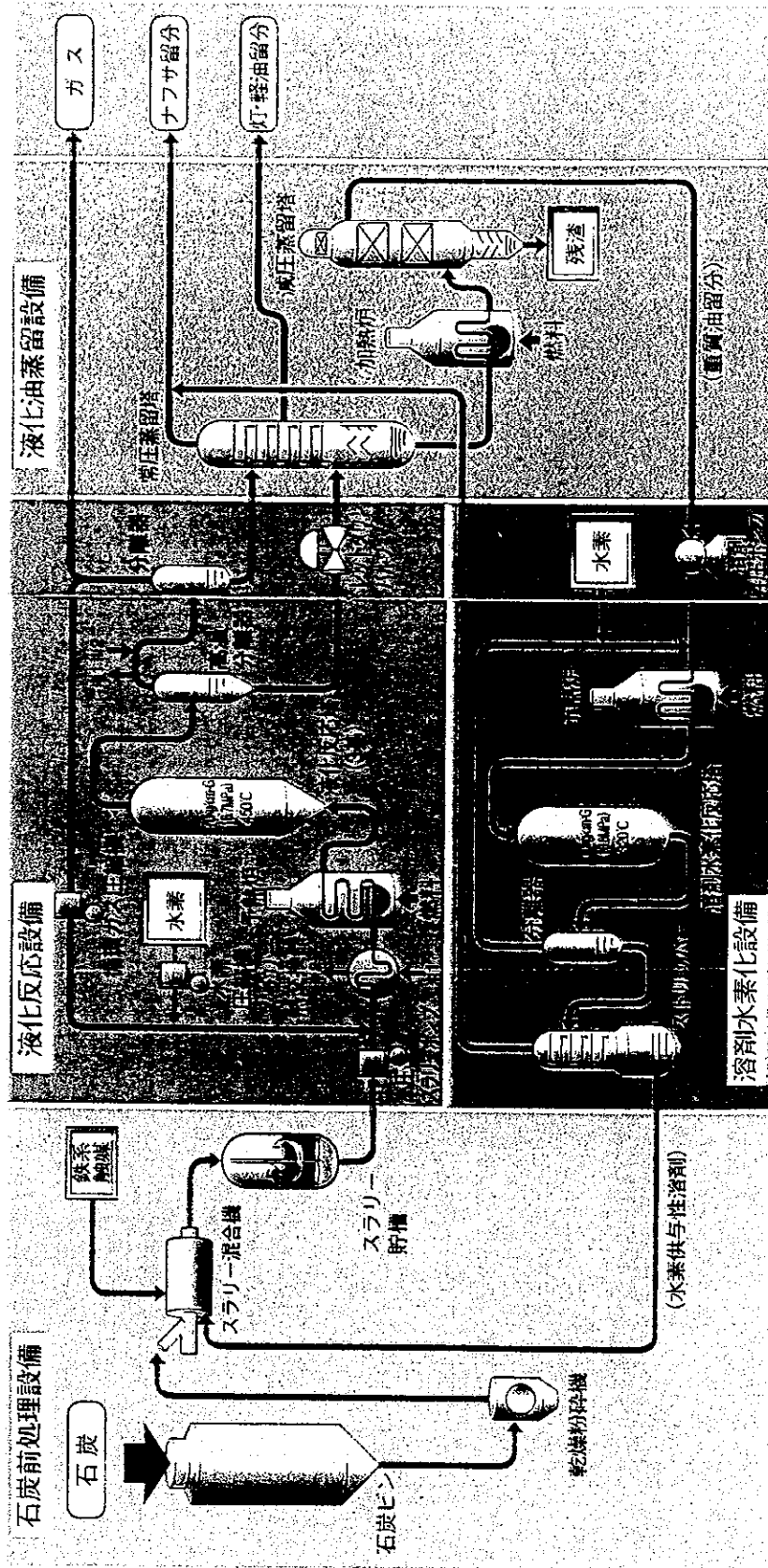


図 6-1 NEDOL 法の概略プロセスフロー (出所：日本コールドオイル株式会社資料)

表 6-8 その他触媒・薬品類等

品名	用途	水素製造	酸性ガス処理	水素回収	硫黄回収	用水処理	排水処理	防消火	軽油調整	備考
	脱硫触媒・吸着剤、改質触媒	○								
	COシフト, COSシフトコンバータ触媒	○								
	酸性ガス処理吸収液 (DEA)		○							
	硫黄回収用触媒、ニールガス処理液				○					
	水素回収PSA吸着剤			○						
	殺藻剤 (NaOCl)					○				
	凝集沈殿剤 (PAC, Polymer)					○	○			
	イオン交換樹脂再生剤 (HCl NaOH)					○				
	冷却水処理剤 (スケール分散、防食)					○				
	排水フェノール処理剤 (NaOH, CaO)						○			
	排水アンモニア処理剤 (Mg(OH) ₂ , H ₃ PO ₄)						○			
	排水中和剤 (H ₂ SO ₄ , NaOH)						○			
	活性汚泥, 活性炭						○			
	泡消火剤							○		
	セタン価向上剤								○	

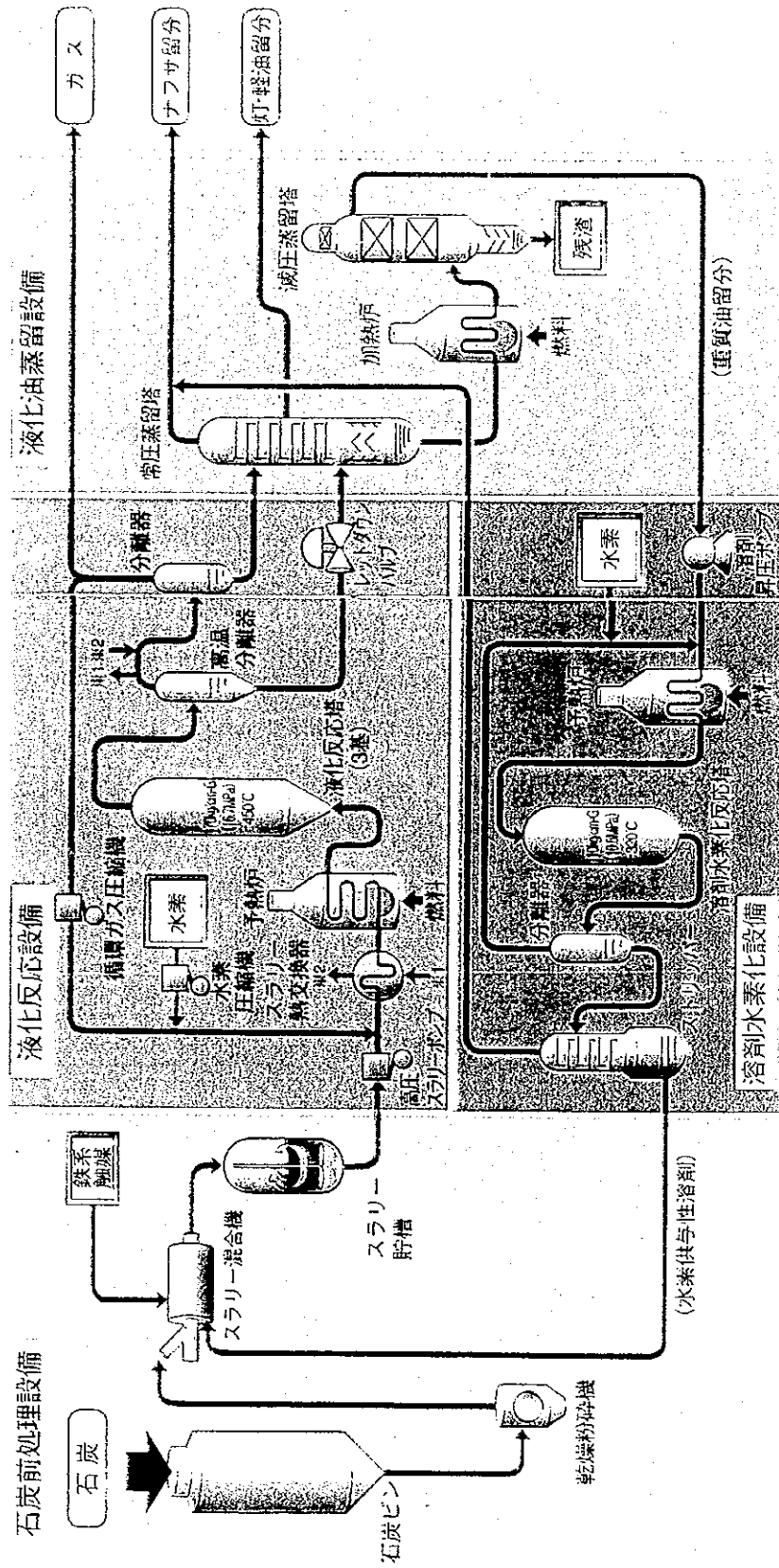


図 6-1 NEDOL 法の概略プロセスフロー (出所：日本コロールオイル株式会社資料)

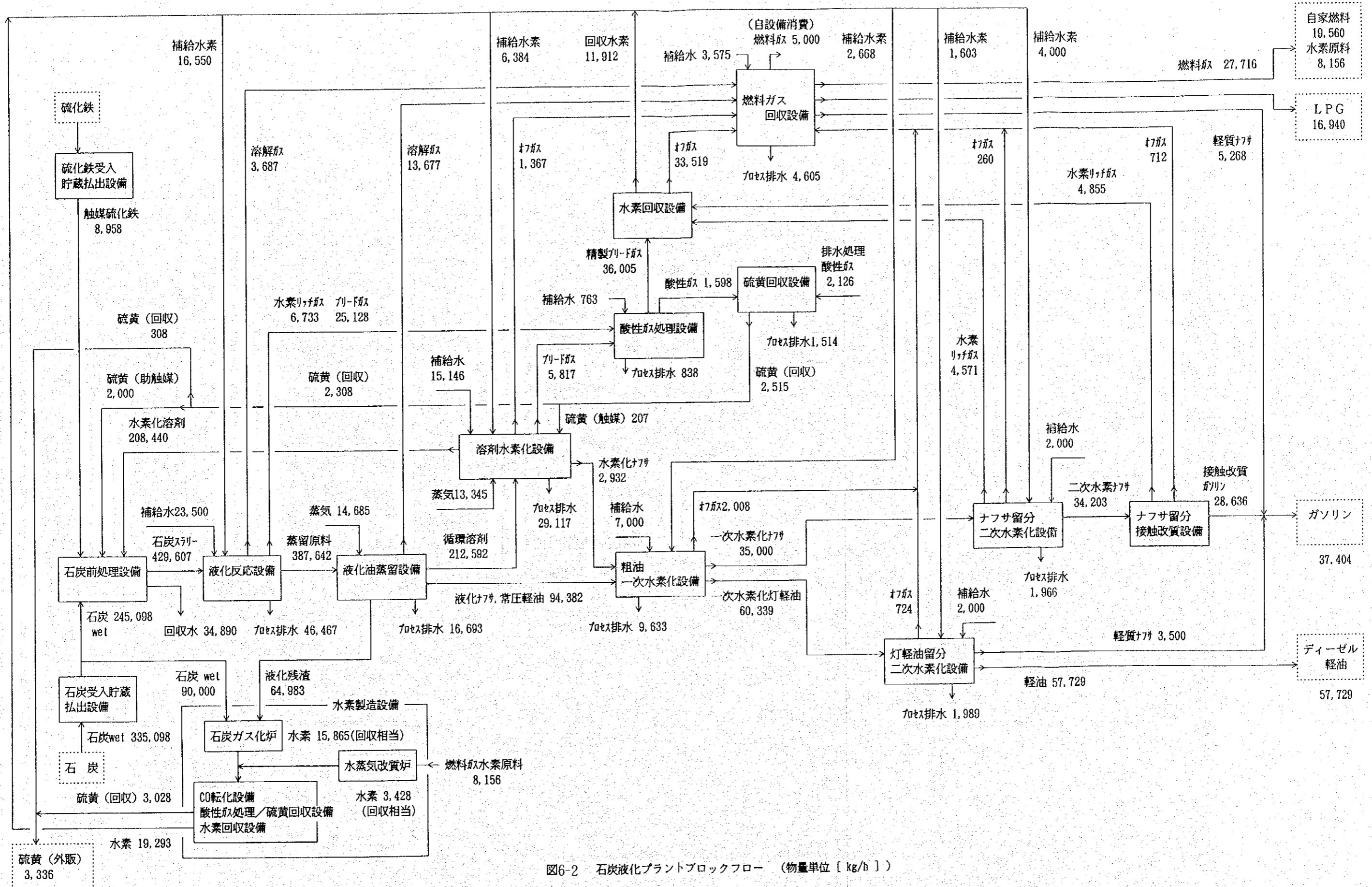


図6-2 石炭液化プラントブロックフロー (物量単位 [kg/h])

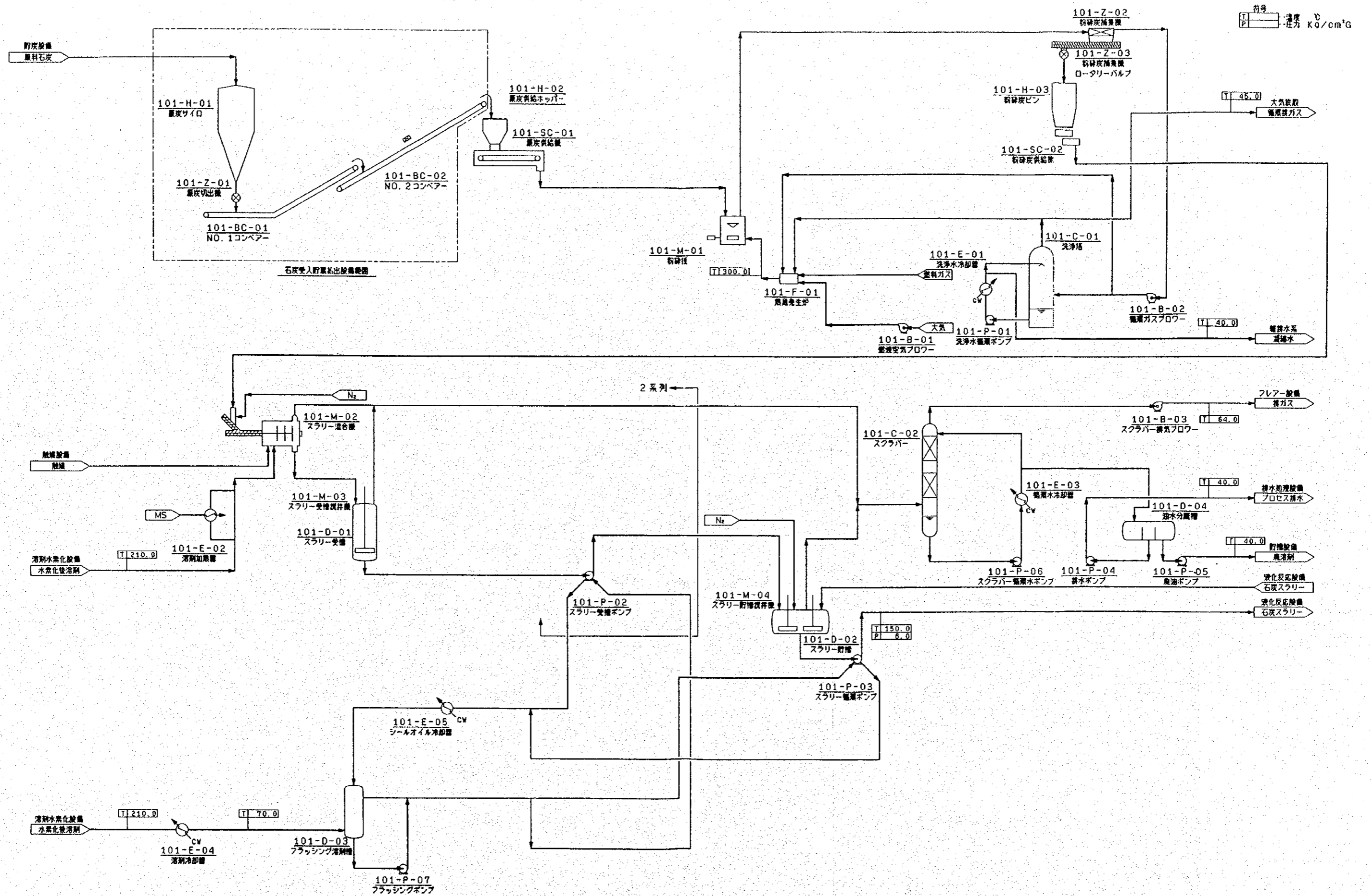


図 6-3 石炭前処理設備プロセスフロー

T 温度 °C
 P 圧力 kPa/cm²

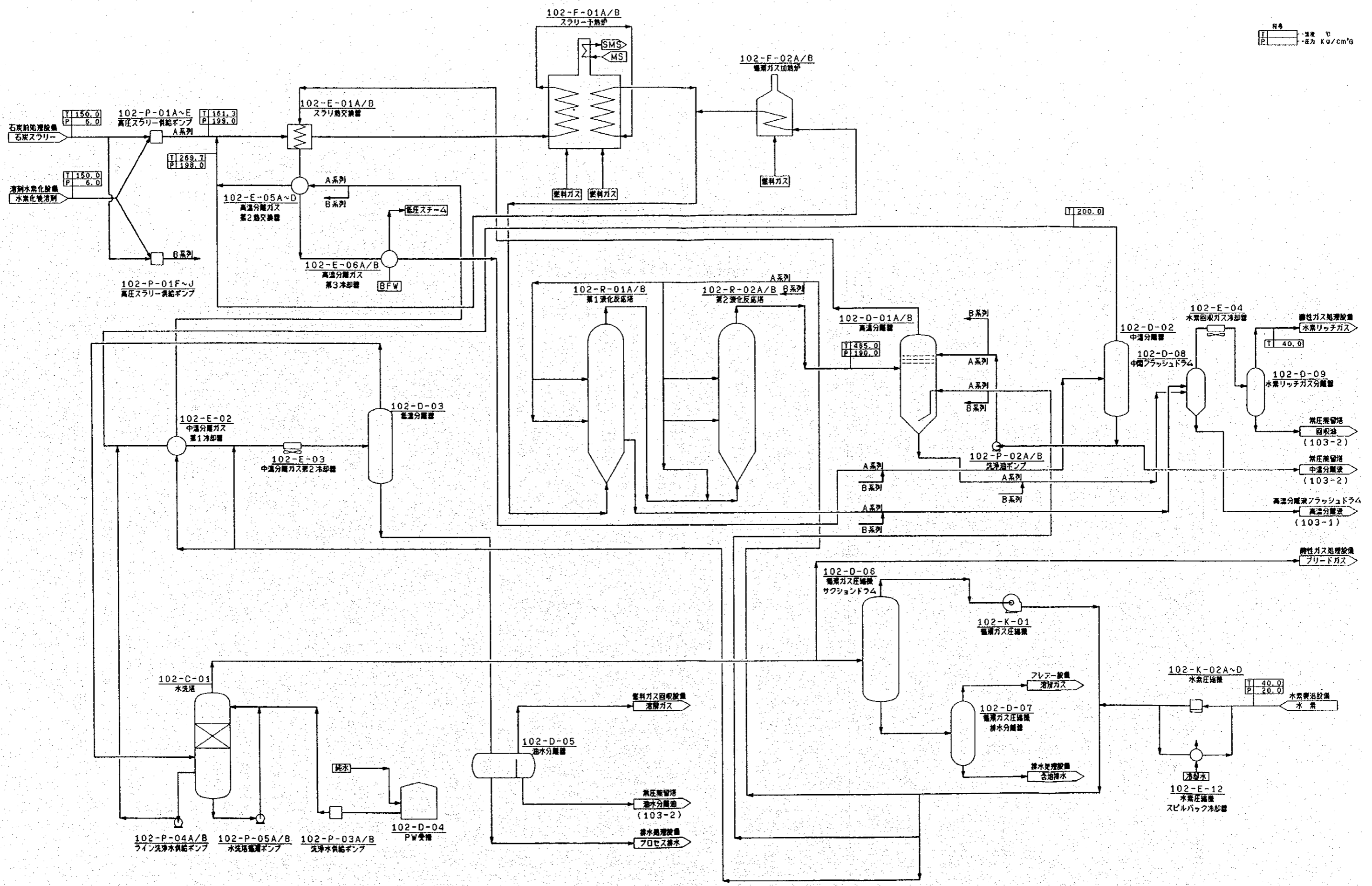


図 6-4 液化反応設備プロセスフロー

T: 温度 °C
 P: 圧力 K_g/cm²g

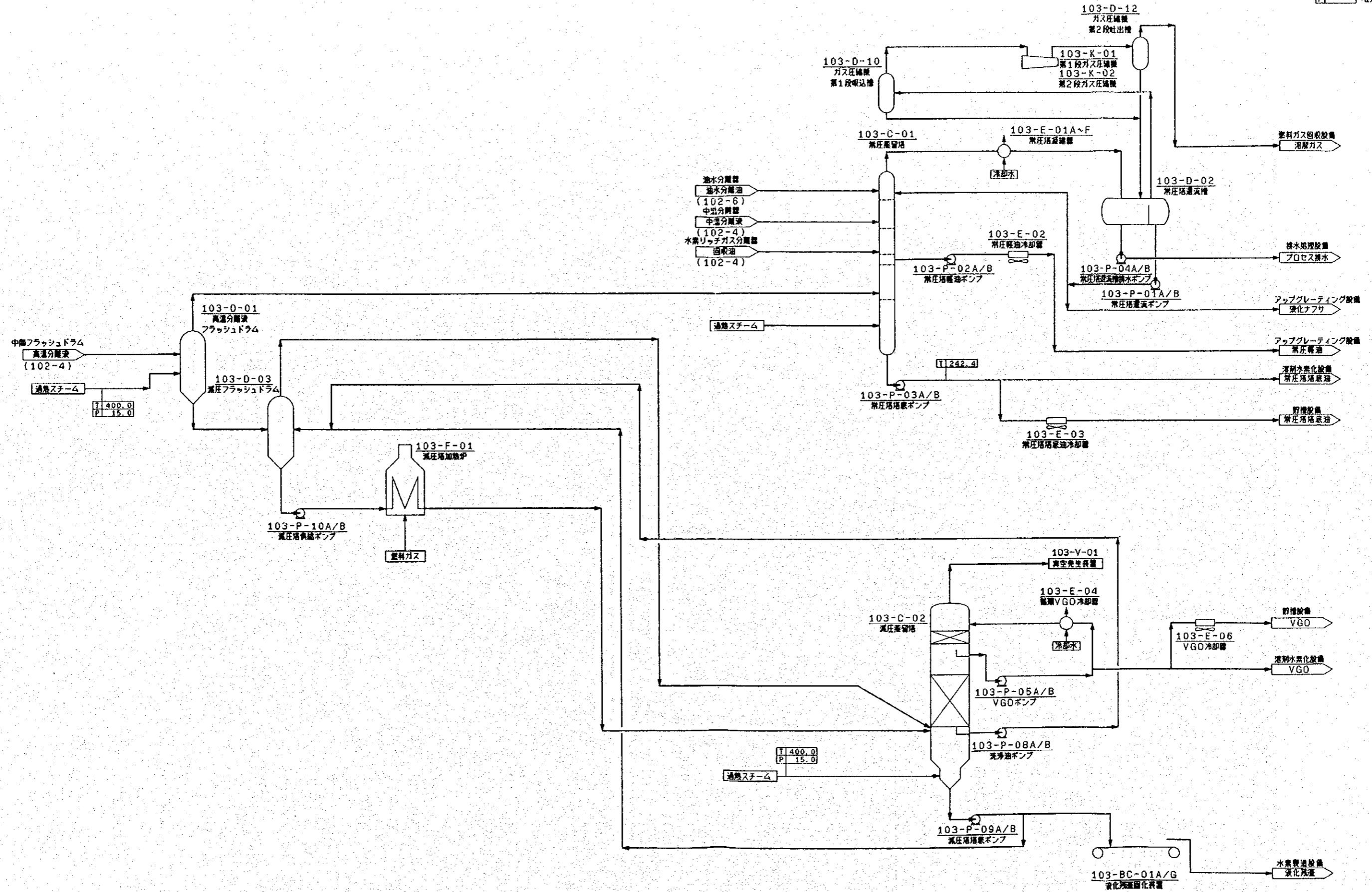
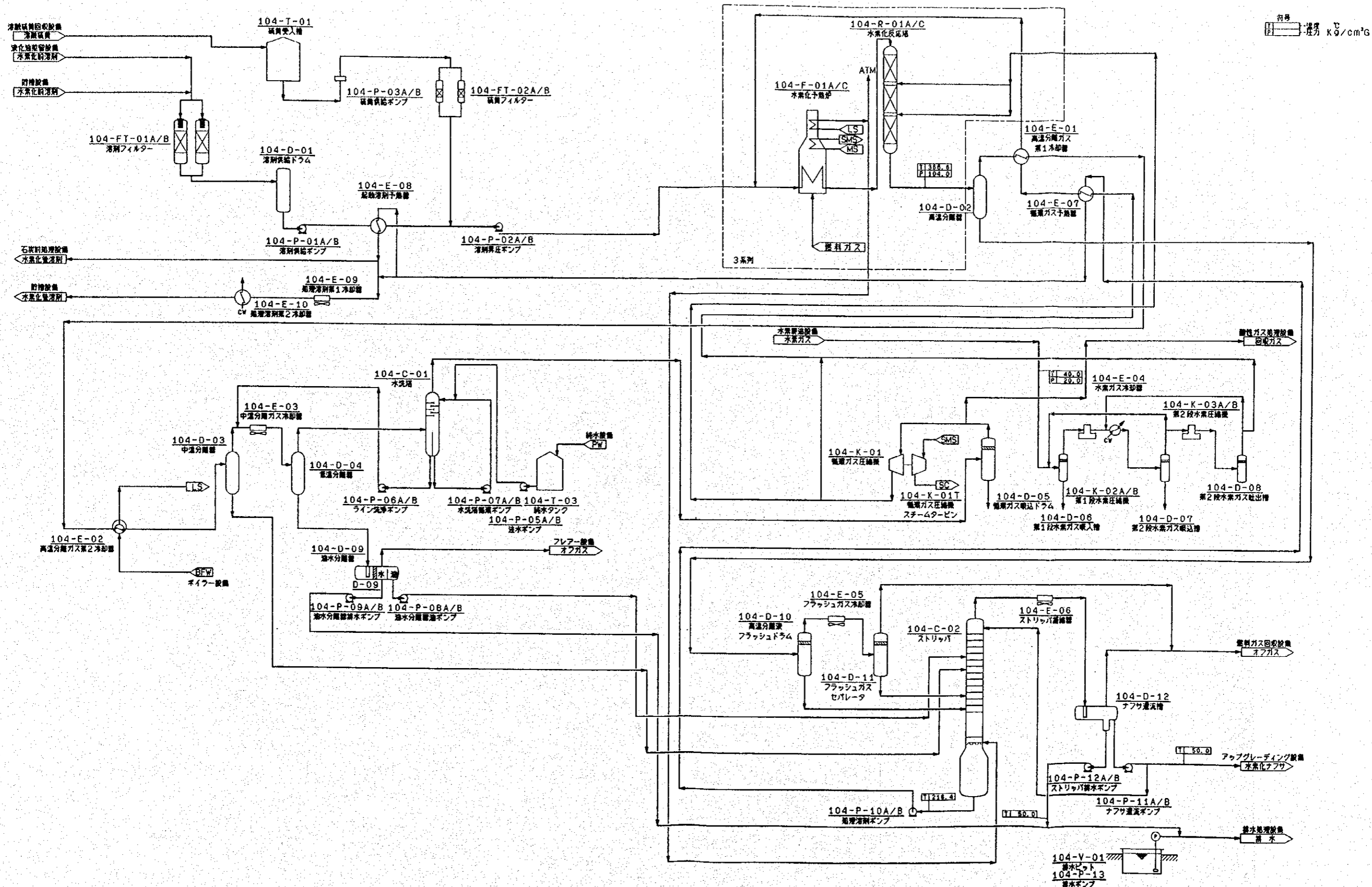


図 6-5 液化油蒸留設備プロセスフロー



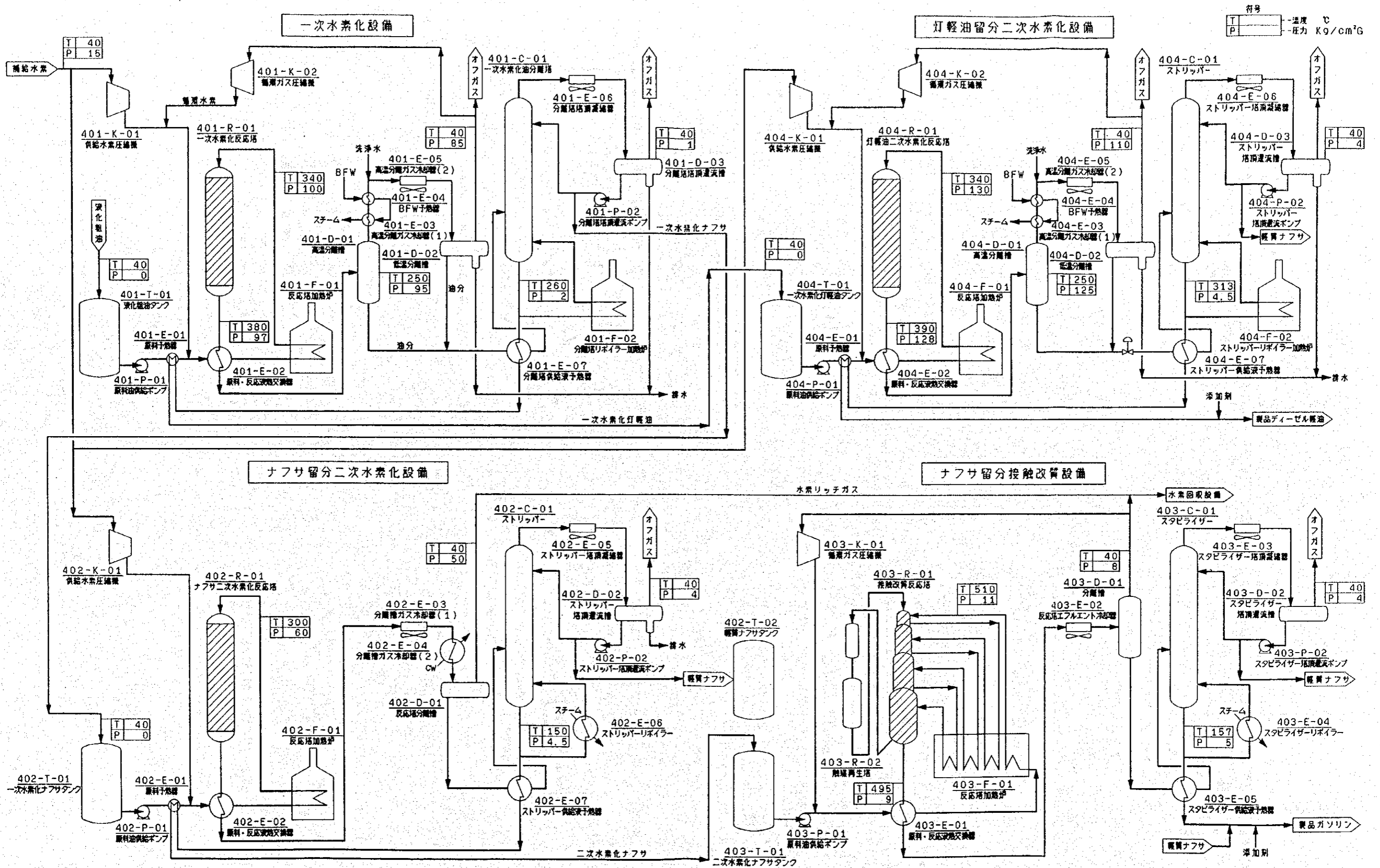
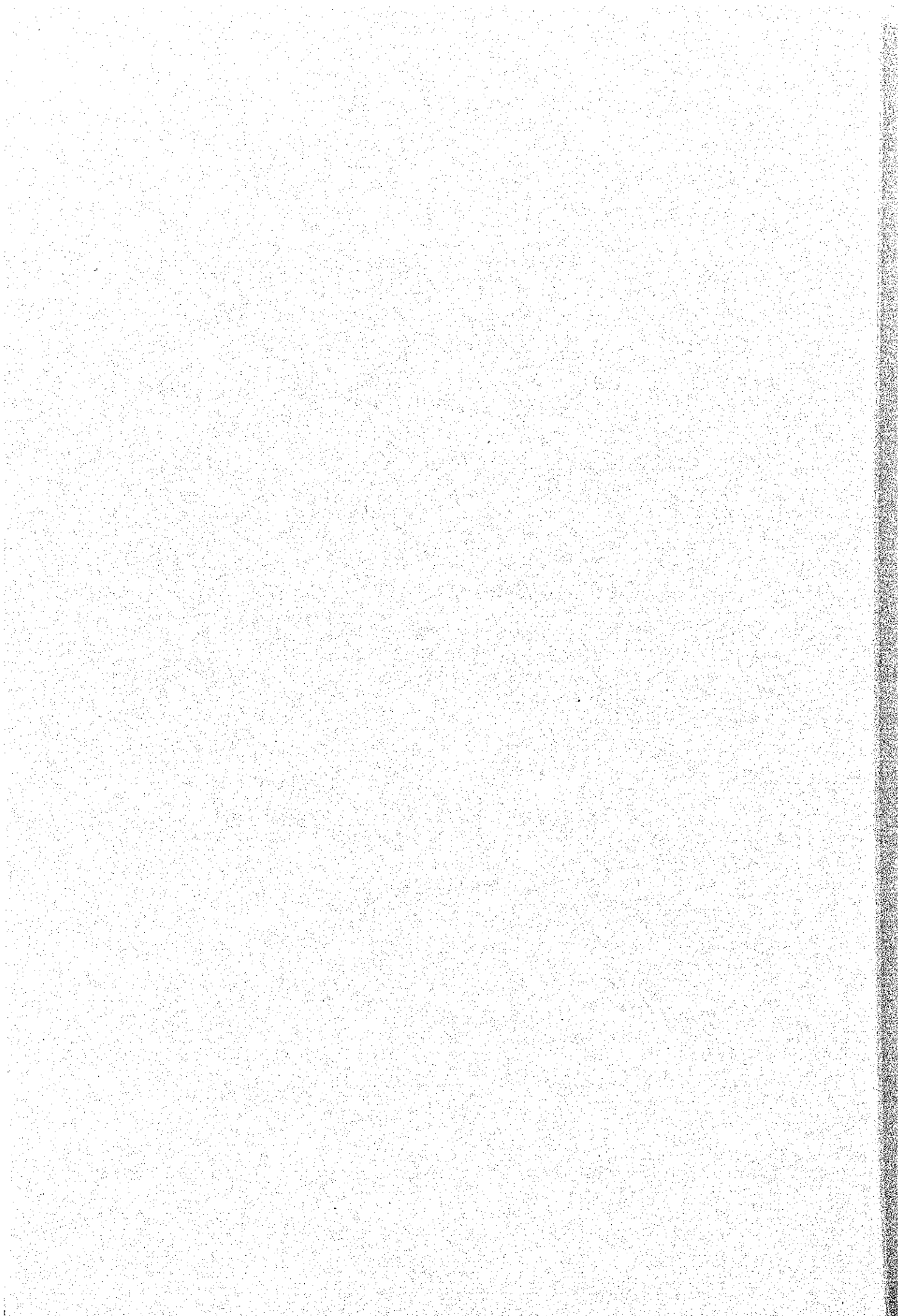


図 6-7 液化粗油アップグレーディング設備プロセスフロー



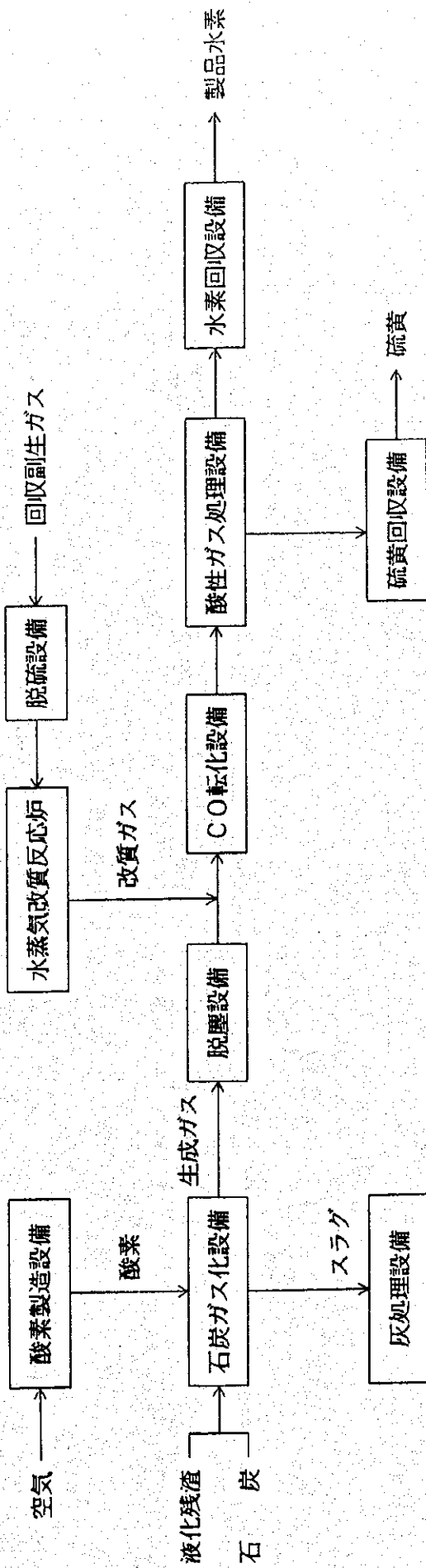


図 6-8 水素製造設備ブロックフロー

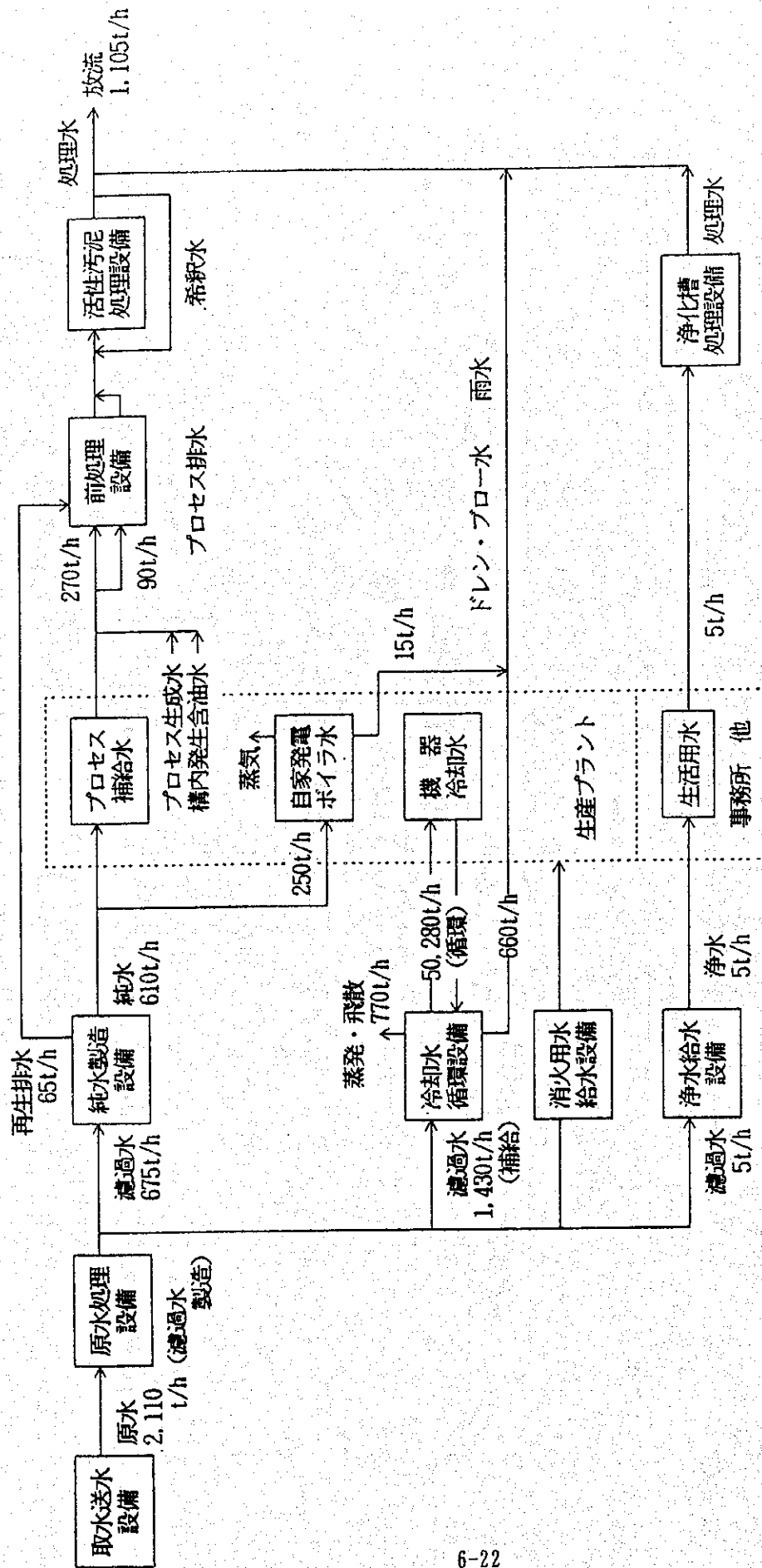
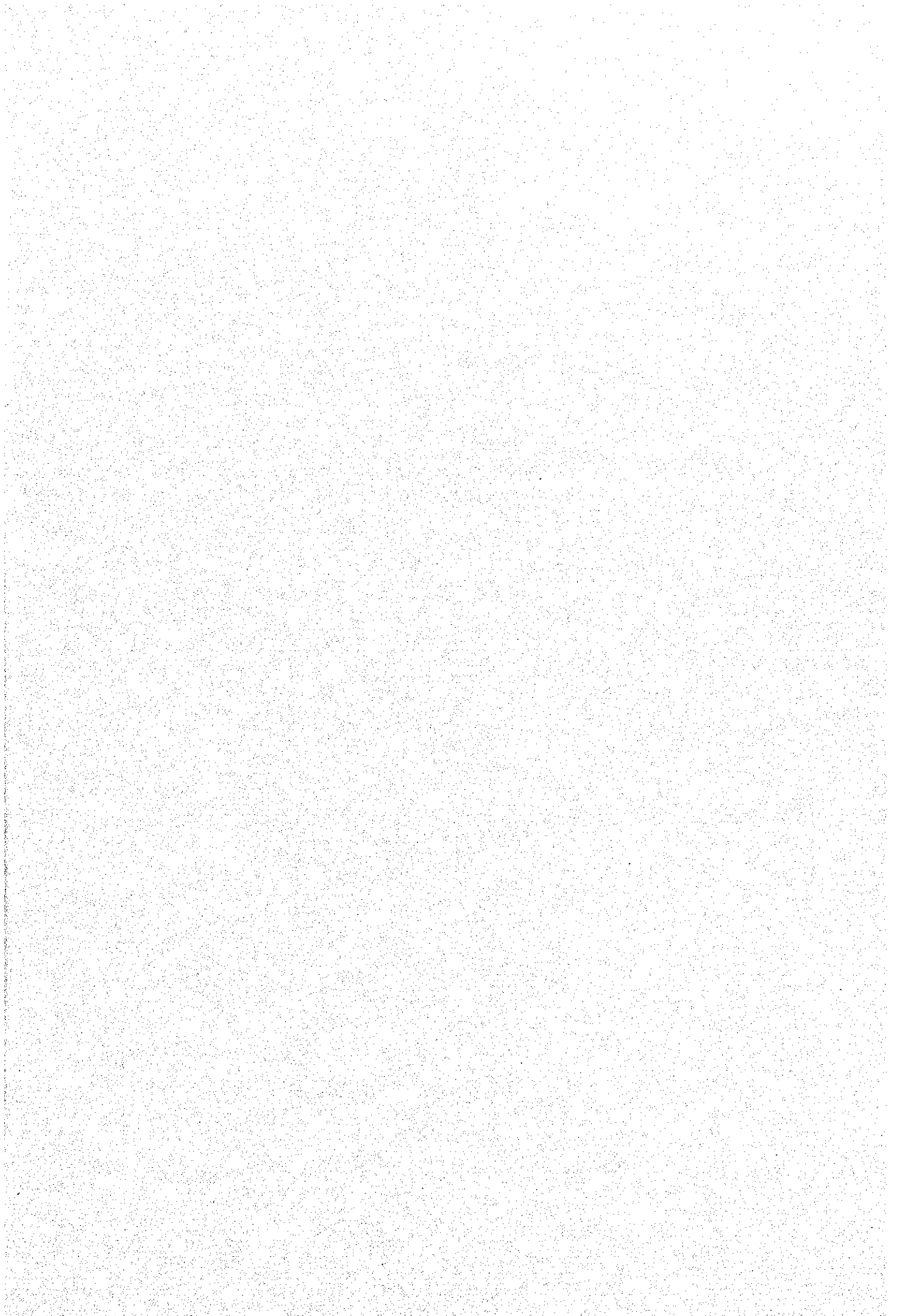


図 6-9 石炭液化工場用水・排水フロー



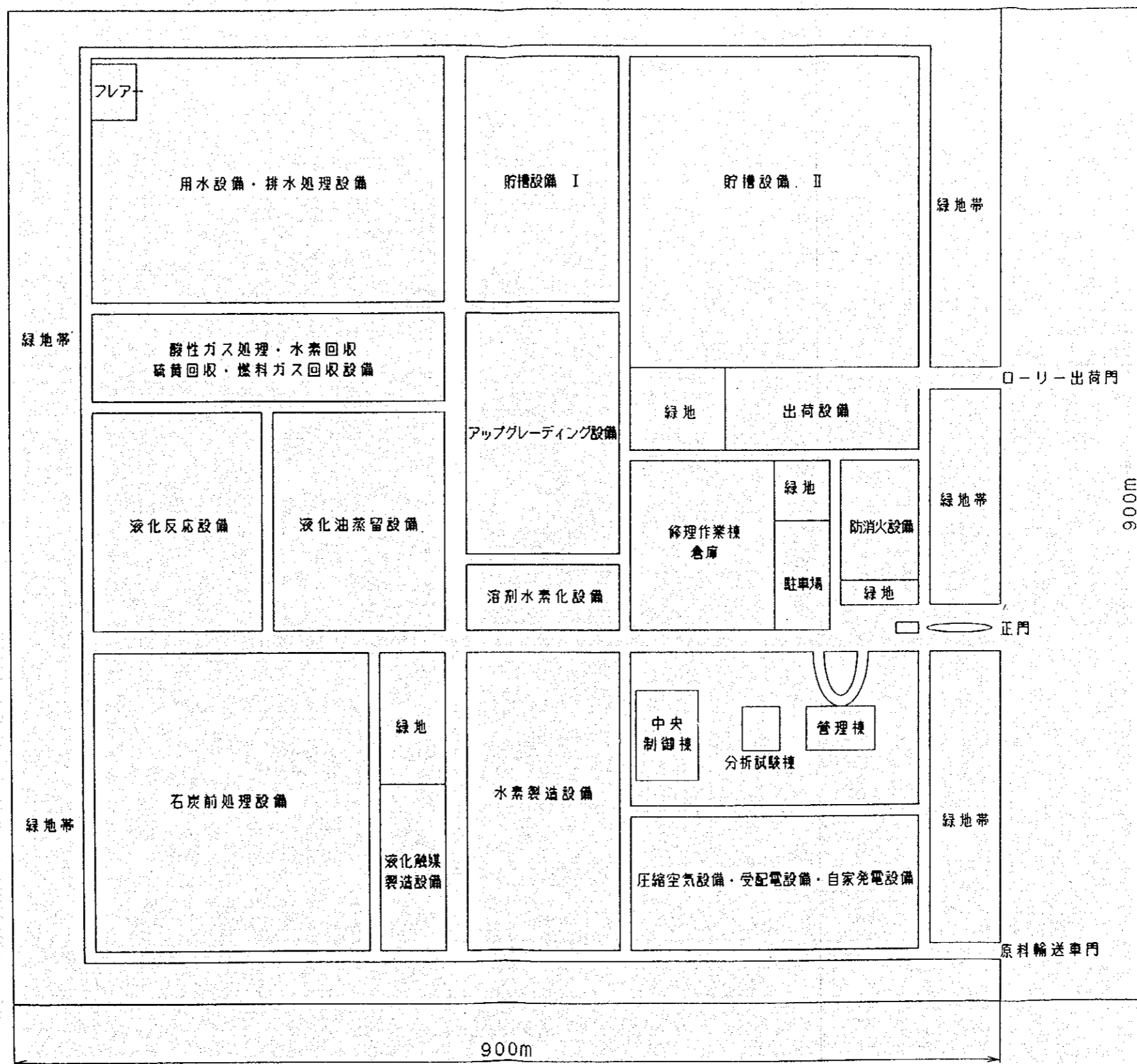


図 6-10 石炭液化工場 レイアウト

