真空技術





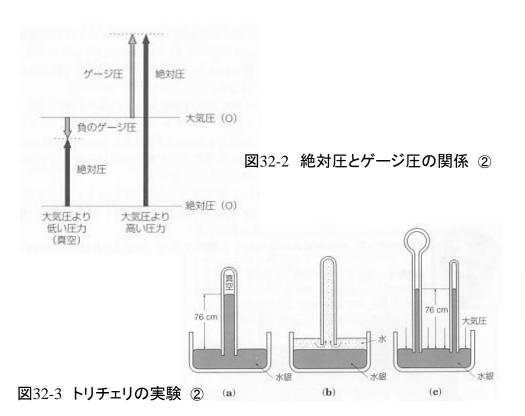
真空管と真空パック

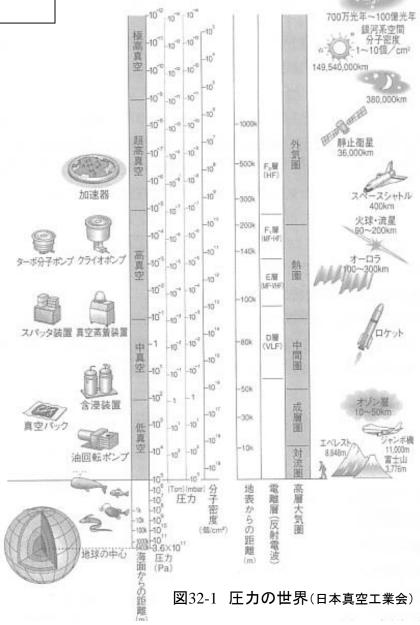
真空の世界

真空とは(JIS): 大気圧より低い圧力の気体で満たされている空間の状態

日本工業規格による真空の圧力区分:

- **1.低真空**(大気圧 10⁵ Pa~ 10² Pa) 大気圧との差を活用、大気圧では酸化・窒化しやすいものの貯蔵、包装に使われる
- 2.中真空(10² Pa~ 10⁻¹ Pa) 物質の沸点の低下により高沸点の 金属の熱処理に使う
- 3.高真空(10-1 Pa~10-5 Pa) 気体分子相互の衝突がまれになり、
- 4.超高真空(10-5 Pa~10-8 Pa) 気体分子の存在が無視できる 半導体回路の製造に必要
- **5.極高真空**(10-8 Pa以下)ー空間・容器内壁面に不純物がなくなる。 表面分析・表面解析に必要





産業での利用

真空は半導体、FPD、自動車などの生産の基幹技術のとなっている。最近は薄膜系太陽電池などにも拡大。 真空技術は表面的には知られていない広い分野で利用されている

現在、真空技術でもっとも注目されている業界は情報機器、ディジタル家電を扱う分野 - 半導体デバイス製造、LCD-TV、DVDディスク、ケイタイ、カーナビなどの部品製造に薄膜形成、薄膜加工、表面改質などの各装置が重要な役割を担っている

表32-1 産業での利用分野

分 野	利 用 例
金属	真空鋳造、EBW、真空冶金
機械	真空成形、真空吸着搬送、真空包装
自動車	エンジン部品、負圧ブレーキ、排ガス分析器
電気	真空コンデンサ、真空遮断器、真空管
電子	ハードディスク、光ディスク
ディスプレイ	FPD、LCD、有機EL
IT	半導体デバイス、光ファイバ
エネルギー	太陽光発電、燃料電池
化学	真空蒸留、真空乾燥
光	レーザ、電子顕微鏡、レンズコーティング
照明	白熱灯、蛍光灯、LED
バイオ	バイオMEMS、バイオチップ
新素材	CNT、超耐熱合金
食品	インスタント食品、真空パック、酸化防止処理
医療	吸引器、殺菌器、人工骨
この他、 環境、宇宙、窯業、原子力、事務用品、雑貨 等 の分野	

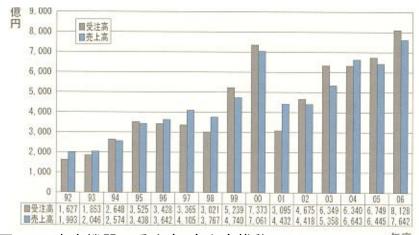


図32-4 真空機器の受注高·売上高推移(日本真空工業会) ^{年度} ※新データは巻末

表32-2 真空産業の構造(日本真空工業会)

第1階層	民生・産業用製品
	パソコン、テレビ、デジカメ、携帯電話、カーナビ、食品、自動車、 医薬品、科学製品、理化学機器など
第2階層	部品・材料
	LSI、センサ、LED、液晶、有機EL、レンズ、工具、DVD、 ミラー、ヘッドライト、金属材料、科学材料など
第3階層	真空装置
	スパッタ、蒸着、P-CVD、イオン注入、凍結乾燥、含浸、 冶金など
第4階層	真空コンポーネント
	回転ポンプ、ターボ分子ポンプ、ドライポンプ、バルブ、蒸発源、 ターゲット、真空計、制御器、電源、継ぎ手、フランジ、軸シ ールユニット、ヒーターなど
第5階層	委託加工・役務
	チャンバ加工、表面処理、委託加工、サービス、役務など

生活用品への利用

身のまわりで真空利用の具体例: A.製品-例、魔法瓶、蛍光灯、 B.製品、部品の製造工程

凍結真空乾燥(フリーズドライ) - 食品を真空雰囲気に置いて 低温で水分を蒸発。加熱しないため変質を防止できる

真空蒸留 一操作圧力を真空にすることにより沸点が下がり、 加熱による変質が少ない

真空成形 ープラスチックなどの薄板を加熱して軟らかくした後、 金型に真空で密着して成型。他の成形法に比べて安価

表面加工 ーチタンコーティングができない代わりにイオンプレーティング、スパッタリングを施工。装飾用として、めがね、腕時計、洋食器、筆記具など

電子顕微鏡、STM(走査型トンネル顕微鏡) -原子レベルの光学的分析に真空中で電子ビームを通す

農産物の貯蔵 ー真空中で野菜などその中心部まで水分を抜いて気化熱による低温化と呼吸活動を制限し、凍らせずに鮮度を保つ

太陽熱温水器 一真空ガラス管を使って、集めた熱を逃がさないようにする (日本電気硝子㈱は2007年末で製造中止)

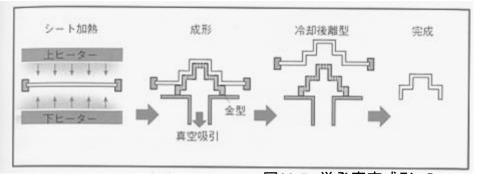
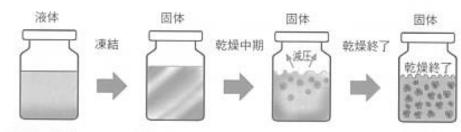


図32-7 単発真空成形 ①



溶剤が物質に 溶けている状態

溶剤・物質ともに 凍っている状態

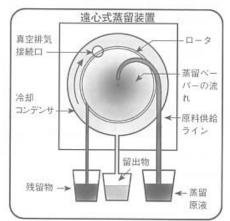
溶剤が昇華し、多 溶剤が 乳質になりつつあ で多孔 る状態 なりま

溶剤が全部昇華し て多孔質の物質と なります

利用されている食品・医薬品の例

食品 医薬品
ベビーフード 抗生物質
タマゴスープ インターフェロン
インスタントコーヒー
カップめんの具

図32-5 凍結真空乾燥 ①



真空蒸留が利用されている食品・医薬品

ビタミンA・ビタミンE モノグリセライド(乳化剤) 魚類抽出油の精製・・・EPA、DHA、スクワラン 動物油の精製・・・ラノリンアルコール(保湿剤) パラフィン(ホットメルト接着剤) 潤滑油・真空ポンプ油(鉱物油・合成油・フッソ油)

図32-6 真空蒸留 ①

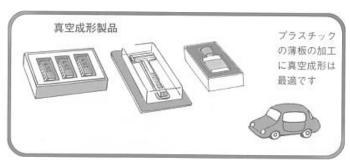


図32-8 真空成形製品 ①

製造業での利用技術

真空溶解:誘導式真空溶解法と真空アーク溶解法とがある。誘導式真空溶解法は、溶解、精錬、鋳造を連続的に真空容器中の高周波炉で行ない、高度の脱ガス精錬を実施。耐熱性、耐食性の高い超合金には、鉄にNi、Mo、Co、Crなどを加えるが、これらの元素の酸化、窒化を防ぐため、真空中で加熱、溶融、精錬する。電磁気材料、高級耐食鋼、耐熱合金等に適用

真空脱ガス鋳造法:減圧条件下で取鍋から鋳型に溶鋼が落下する過程において脱ガスを行なう。溶鋼の溶融状態で拡散速度の大きい水素除去に重点がおかれている。大型の鋳鋼,鍛鋼用鋼塊,厚板材等に利用(S37 科学技術白書)

金属の真空蒸留:原子力発電の高速炉の冷却材として使われる液体ナトリウムの純度を高めるため、真空蒸留が使われる。 純度99.7% → 99.998%

真空熱処理:焼入れ、焼き戻しなどの熱処理を大気、 不活性ガス中の代わりに真空中で実施。金属表面の 光輝処理、入り込んだガスの除去が可能

真空焼結:真空中で金属粉末を高温で焼き固めて焼結することにより、混合成分のNi、Ti、Coなどが水素・酸素と反応して性能劣化をきたすのを防ぐ。永久磁石、超硬合金の量産に適用

電子ビーム溶接:電気エネルギーを高度に集中させる 電子ビーム溶接は、高真空条件が必須

真空含浸:変圧器等の電気品の絶縁を完璧にするために真空中で数時間~数日間保持して内部まで乾燥させ、その後、大気圧で絶縁油に浸して機器の細部まで絶縁油を浸透させる

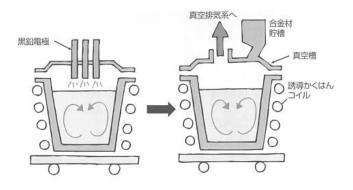


図32-9 誘導撹拌による真空脱ガス ④



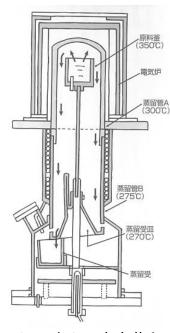


図32-11ナトリウムの真空蒸留 ④



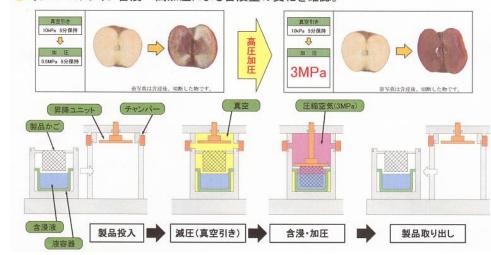


図32-12 真空高圧含浸装置 (ミカドテクノス)

真空薄膜技術

薄膜とは、厚さが数μm程度で、平板状をしており、基板(金属、半導体、絶縁物(誘電体)、高分子、有機材料など)といわれる材料の上に形成・保持されている。 表面積/体積比が106/m以上

薄膜製造は真空をもっとも活用している分野のひとつ。 半導体デバイス、FPD(ディスプレイ)、記録メディア、各種光学薄膜、携帯電話、デジタル 家電、ハードコーティング、建築用コーティング(ガラス)などには不可欠 一超小型化、高機能・高信頼性、省資源、低コストなどに貢献

薄膜製作法の条件:

- 1.nmオーダーの薄い膜の厚さ制御が可能、
- 2.膜圧均一性の制御が可能、
- 3.大気圧下より物性の優れた薄膜の製作

表32-4 薄膜の結晶構造による分類

単結晶	全体がひとつの結晶。 多くの分野で高い関心
多結晶	小さな結晶の多数の集合。 一般的な薄膜
非晶質	隣り合う近くの原子間では秩 序があるが、巨視的には無 秩序な状態(アモルファス)。 特定な用途

表32-3 気体からの各種の薄膜堆積法(めっきは液体からの薄膜堆積)

気体からの	物理的方法	蒸着法	抵抗加熱法、電子ビーム蒸着法、高周波 誘導炉加熱蒸着法、イオンアシスト蒸着法、 イオンプレーティング法、活性化蒸着法、 レーザ加熱蒸着法、レーザアブレーション 法、アーク蒸着法、分子線成長法
₩ 薄膜 堆積		スパッ タリン グ法	直流マグネトロン法、高周波マグネトロン 法、アンバランスドマグネトロン法、イオン 化法、パルス法、イオンビーム法
法	化学的方法 (CVD)		熱、プラズマ、有機金属、光等の各種化学 気相成長法

真空にする理由:

- 1.原子の大きさに近い薄い膜の堆積およびその膜厚制御が可能
- 2. 薄膜となる材料をが基板まで到達することを容易にする
- 3.より蜜な構造やよりよい物性を持つ薄膜を形成できる
- 4.O2やN2などを取り除いた雰囲気での薄膜形成で高純度のものが可能

表32-5 付加価値による薄膜の応用例 ⑤

付加価値の分類	薄膜応用例	材料の例
バルク材料の特性を保ちながら、新たな表面物性を付加したり、バルク材料 に欠けている物性を薄膜材料で補った りする。		Al, Ag Ag TiN TiN, TiC, CrC, DLC SiO ₂ , フッ化物 TiO ₂ ITO, SnO ₂ Al, Al ₂ O ₃ , SiO ₂ ITO
nm オーダのスケールにおいてのみ現 れる物性を利用する。	光学フィルタ 反射防止コーティング 巨大磁気抵抗素子	SiO ₇ , MgF ₂ , Ta ₂ O ₅ , TiO ₅ SiO ₇ , MgF ₂ , Ta ₂ O ₅ , TiO ₅ 強磁性含金, Al ₂ O ₂
高集積化あるいは微細化のために薄く する。	半導体素子 メモリ素子 微小電子機械デバイス薄板 抵抗素子	Si, SiO ₂ Si, SiO ₂ SiO ₂ , TiN, AI

DLC: Diamond-like Carbon, ITO: Indium-tin oxide

薄膜成形方法

の供給

薄膜を製作する装置 の基本構成:

- 1.真空ポンプ排気系によって作る真空空間、
- 2.作成する薄膜原子を放出供給する源(ソース)とその放出手段、
- 3.原子を堆積して薄膜とする基板

真空蒸着:蒸発材を真空中(一般に10-2Pa)で融点まで加熱し、蒸発させ、 その材料を基板上で再度固体とし、薄膜として堆積する方法。主に研究用、 一部生産用。飛ぶ粒子の大きさは100万分の0.3ミリ程度

イオンプレーティング:イオン化した蒸着物質を電界で加速して母材表面 に衝突させて被膜を形成する方法。蒸着物質の運動エネルギが大きく、 蒸着物と母材の密着性が強い。主に研究用、高機能光学薄膜生産用

スパッタリング:アルゴンなどを放電してプラズマ化して、で きたプラズマのなかのイオンを加速して薄膜材料の板 (ターゲット)に激突させ、これの原子や分子を跳ね飛ばし、 これが蒸着の50倍程度のスピードで飛んで行き基板に薄 膜を形成する。真空蒸着よりも緻密で高精度な薄膜を再 現性よく形成する。 高融点物質も材料に使えるため、超 LSIや半導体分野で用いられる

気相成長(CVD):IC等の製造工程で、化学反応を用いて 基板上にシリコンなどの薄膜を作る手法。LSI、表面保護 用のシリコン酸化膜、シリコン窒化膜、アモルファスシリコ ン薄膜などの製造・研究に用いられる。プラスチックなど、 熱に弱い基板には使えない

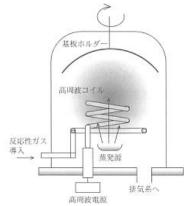


図32-14 高周波イオン プレーティング ⑤

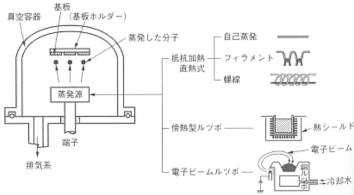


図32-13 真空蒸着装置の基本構成 ⑥

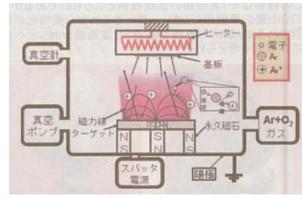
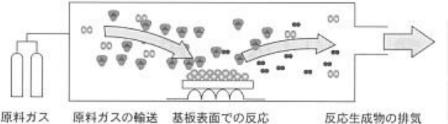


図32-15 スパッタリング (JST)



(薄膜堆積)

図32-16 CVDの概念 ⑤

(除去)



図32-17 インライン式CVD装置 (アルバック)

真空ポンプ

真空ポンプ:圧力領域によってタイプを選ぶ。 高真空領域では2段式で吸引(あらびきポン プ+本びきポンプ)

ドライポンプ: 反応性が高く活性 な気体を排気する場合、油を使 用しないドライポンプを使う

> 図32-19 ルーツ 型ドライポンプ ①

油回転ポンプ:容器の内面に油膜 を作り、摺動翼との間の潤滑と気 密保持をする

> 図32-20 回転翼型 油回転ポンプ ①

ターボ分子ポンプ:分子流領域で 作動するポンプ (10-8Paの超 高真空まで働く本びきポンプ)

クライオポンプ: 気体分子を 20K以下に凝縮、吸着、捕捉、 排気する)

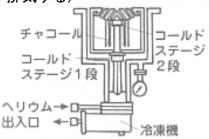
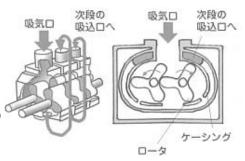


図32-22 クライオポンプ ①



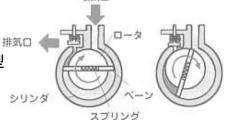


表32-6 真空ポンプの分類

気体移 送式	容積移 送式	往復動式	ピストン、ダイヤフラム
		回転式	液封、油回転、ルーツ型、スクロール型
	運動量 移送式	機械式	ターボ、ターボ分子
		液体作動 式	エジェクタ
		イオン輸送	
気体溜 め込み 式			ソープション、ゲッタ、 クライオ
	送式気体溜め込み	送式 送式 運動量	送式 送式 運動量 移送式 機械式 液体作動式 イオン輸送 気体溜め込み あ込み

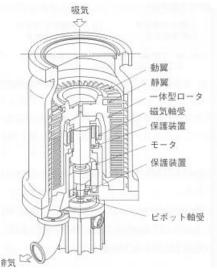


図32-21 ターボ分子ポンプ

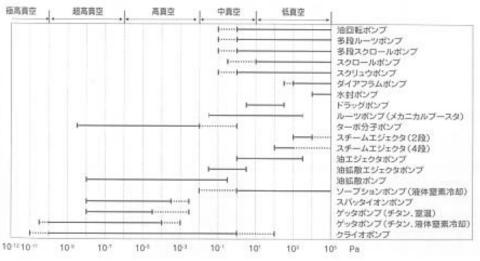


図32-18 真空ポンプの種類、適用範囲

真空装置部品

真空容器、ポンプのほか;1.真空ポンプのバルブ、2.電気の導入端子、3.ガスの導入バルブ、4.水の導入器、5.機械力の導入に用いる直線/回転導入機、6.連結部フランジ など

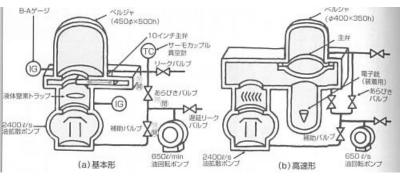


図32-23 真空装 置排気系の例 ④

真空バルブ:真空ポンプと真空容器、あるいは2つの真空容器の間に設置し、気体の流れを止めたり、流したりする機能を持つ。 1.弁の開閉をする駆動部、2.弁板、3.駆動部と弁板を連結する部品の3部分から構成される

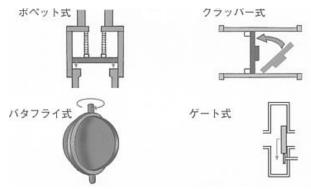
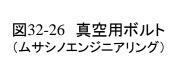
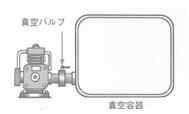


図32-25 真空バルブの種類 ①







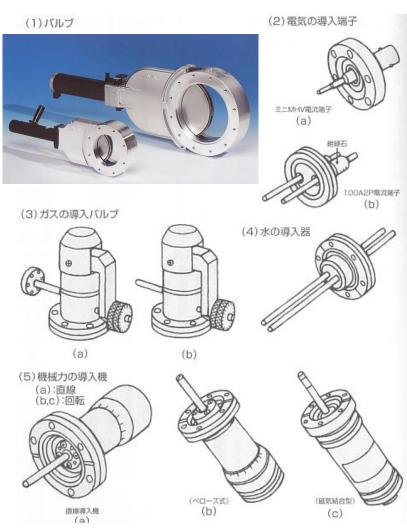


図32-24 真空装置のための部品 ④

計測器

真空計は圧力のレベル(真空度)に応じて 使い分ける

圧力を他の物理量に置き換えて真空を計る

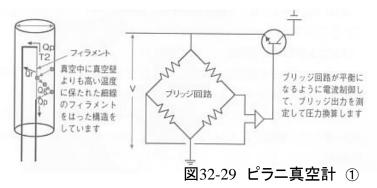
- 1. 機械的現象に基づくもの:
 □字管、ブルドン管など圧力そのものを測定。
- ・出力信号が気体の種類によらない、
- ・正確な圧力を検出しにくい、
- ・高真空領域では使えない
- 2. 気体の輸送現象に基づくもの:

熱電対、サーミスタなど気体分子によるエネルギーの 授受(放熱など)を測定。 信頼性が高いタイプがある 例、ピラニ真空計

3. 気体中の電離現象に基づくもの:

気体分子をイオンにしてその電流値を計測、高真空 ~極高真空領域(10-9Pa以下)の圧力測定ができる。 信頼性が高い 例、電離極高真空計

注. サーミスタ=電気抵抗が温度によって大きく変化する 材料を用いて温度測定用のセンサとしたもの



真空分圧計:真空中に残っている残留ガス成分は 真空の質に影響する。油、酸素、水、COは真空中で する仕事にとって問題となる

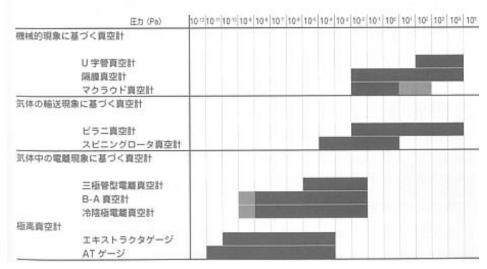
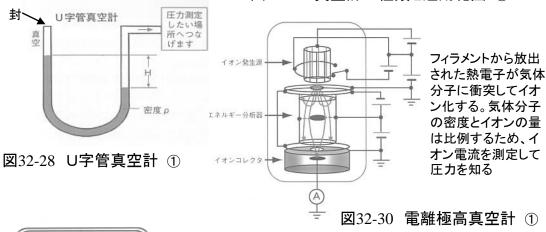


図32-27 真空計の種類と適用範囲 ①



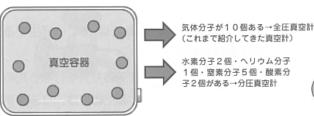
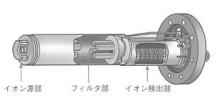


図32-31 分圧真空計 ①



基盤技術高度化指針

<中小企業特定ものづくり基盤技術17分野のうちの第17項ー

「真空の維持」>

(SFI18 ものづくり高度化法 参照)

達成すべき高度化課題

●主な対象分野

1.情報家電(例、FPDの高精細化、通信機器の小型化・軽量化・低消費電力化、半導体・電子部品の多様化) 2.ロボット(例、産業ロボット、原子力・宇宙・海洋等の極限環境分野、案内・清掃のサービス分野、介護・手術等の医療分野)

3.自動車(例、半導体、FPD、センサー、 ランプ、反射板、ミラー、外装部品等) 4.その他の産業(医療・環境・エネル ギー・ナノテク・航空宇宙産業における 製品・部品・材料一例、マイクロ検査 チップ・カーボンナノチューブ・CFRP等)

- ●これらの分野に共通する課題
 - 生産性の向上
 - ・生産コストの低減
 - 生産装置の最適化
 - 新材料開発用の生産装置

高度化目標

1.生産性向上一歩留まりの改善、故障を の低減、メンテナンス 容易性の向上、排気 時間の短縮等 2.生産コストの低減 4スペース、低価ストの 低減、大シニングコストの低減、長寿 の低減、長寿命 は減、長寿命 の最適化

3.<u>生産装直の転週化</u> および新材料開発用 の生産装置 一高品質化、高機能

化、信頼性の向上、 操作容易性の向上を含む)、用途の拡大、最 適化、故障診断機能 の付与、耐食性の向上、新素材の使用、 加工技術の高度化等

高度化目標への特定研究開発の実施内容例

- 1.<u>生産性向上</u>
- ・低発塵のバルブシール、軸受、剥がれない膜生成
- ・自己故障診断機能付き真空ポンプ
- ・クライオポンプの再生時間の短縮化、確実な締結機構
- ・外部から制御可能なダライポンプ、排気時間の短縮
- 2.生産コストの低減
- ・ポンプの排気系・計測制御系の省スペース
- ・真空ポンプの省電力化・大容量化・省冷却水・省エネ化
- ・真空ポンプ・排気系・超高真空部品の低価格化
- ・オーバホール部品・分解組立工数・維持管理費の低減
- ・反応生成物除去機能付きドライポプ
- ・測定子・バルブ・ベローズの小型化・長寿命化・耐食性 3.生産装置の最適化
- ・故障までの平均時間(MTBF)1万Hr保証
- ・真空部品の耐腐食性・放出ガス低減・低発塵性の量
- ・真空ポンプの排気性能向上・真空計測の高制化
- ・再現性・信頼性・精度の高い真空計、高信頼性シール
- ・真空部品の軽量化・リーク探しの簡略化、操作容易性
- ・大気から高真空までの広域ポンプ・真空計
- ・ポンプ排気系の省スペース、システムの運転最適化
- ・自己故障診断機能付き真空ポンプ
- ・ガリウム腐食・オイル劣化・水錆を生じないポンプ
- ・熱変形に強いドライポンプ、低ガス放出の新材料
- ・真空機器の各種接合技術の高度化・省力化・表面処理

関連団体

日本真空工業会 日本低温医学会 水素エネルギー協会

財団法人 ヒートポンプ・蓄熱センター 日本フルオロカーボン協会

冷媒回収推進・技術センター 日本冷蔵倉庫協会

課題

真空技術の国 際競争	基幹技術として半導体、自動車、のほか宇宙から食品まで利活用が進んでいる。日本はLCD製造装置では世界をリードしているが、中国などアジア各国の台頭が著しく、競争は厳しくなっている。化学工業、金属材料精製・処理、印刷機械などの分野では、日本でもヨーロッパ製の真空機器を使用するメーカが多い
薄膜作成技術	コンピュータの機能向上、メモリの高密度化などの進歩は薄膜などの作製技術の改革を促す。エネルギー消費を 抑えた環境にやさしい技術、金属に代わる有機物、有機材料、生体などの材料への進展が求められている
次世代IT技術	微細化技術の利用が進むLSIに、量子効果の利用が検討されている
新型太陽電池	太陽電池の市場拡大の中で、生産性、性能向上にCVD装置が注目されている
研究開発体制	真空機器製造事業者は川下製造事業者(真空機器を使用して製品を製造する事業者)の製造現場の使用状況に 関する情報をよく入手して新技術の開発に反映する必要がある。両事業者が知的財産、ニーズ、海外市場規模を 含めて情報を共有するシステムを構築する必要がある

キーワード

平均自由行程	空間で気体の分子が衝突して、次の衝突まで飛行する距離の平均値。実用上の最高の真空(約10兆分の1気圧)で、1ミリリットルに含まれる気体分子の数は355万個あり、25℃での平均自由行程は509km(約東京一大阪の距離)になる
水銀柱	気圧とつり合う水銀柱の高さを測定することによって水銀柱の液面レベルの圧力すなわち気圧を求める。基本的な圧力、真空圧力の測定手段
真空ポンプ	大気圧以下の状態にある気密容器内の気体を吸い出して容器内の圧力を下げる装置。吸引量が0になったとき到達できる最低圧力を到達圧力という
真空遮断器 (VCB)	高真空の容器に電極を収めた構造。受変電設備の主遮断器として電路開閉のために設置。真空の優れた アーク消弧力と絶縁性を利用したもので、容易に大電流を遮断できる
リークディテクタ	真空機器・装置では大気圧との圧力差がある真空状態でプロセスを行う。その維持のために機器・装置のリークテストが不可欠。水中に沈めた機器の内部を加圧して泡の漏出を検出したり、大きな容器の中に入れた機器の内部にヘリウムを充填して、そのヘリウムガスの漏出を分析器で検出したりする