

目次

【1 真空利用の歴史的展望】

1. 真空技術の歴史	中山 勝矢	3
1.1 真空技術とは何か		3
1.2 19世紀までの状況(萌芽期)		3
1.3 20世紀前半の利用と技術(伸長期)		5
1.3.1 回転式真空ポンプの出現		5
1.3.2 蒸気噴流を使うポンプの誕生		5
1.3.3 高真空計測の発達		7
1.3.4 高真空利用のための技術		8
1.4 1950年代における技術の壁(克服期)		8
1.4.1 真空に対する新しいニーズ		8
1.4.2 技術的な壁の発見		9
1.4.3 低圧側測定限界の克服		9
1.4.4 超高真空用真空計の開発		9
1.5 20世紀後半の技術と考え方(開花期)		11
1.5.1 全金属製を目指す技術開発		11
1.5.2 新方式の真空ポンプの登場		11
1.5.3 残留ガスの組成への関心		13
1.5.4 真空の質の管理へ		13
1.6 真空技術発展の流れ		14
1.6.1 真空の程度からみた展開		14
1.6.2 装置の規模からみた展開		14
1.6.3 真空利用からみた展開		15
1.7 終わりに		16
2. 科学技術の展開と真空	中山 勝矢	17
2.1 17世紀：大気の見見		17
2.2 18～19世紀：原子論の確立		18
2.3 19世紀：真空放電の研究と電子の見見		19
2.4 20世紀：X線の見見と固体物理学		21
2.5 極限を目指す科学技術と真空		22
2.5.1 極微領域の観察と電子顕微鏡		22
2.5.2 高エネルギー物理学と粒子加速器		22
2.5.3 高輝度放射光による物性の探究		23
2.5.4 固体表面の原子と極高真空		23
2.5.5 巨大空間への挑戦と宇宙環境試験装置		23
2.5.6 究極のエネルギー源と核融合実験装置		23
2.6 終わりに		24

3. 産業技術の展開と真空	中村 一男	25
3.1 概 要		25
3.2 真空技術醗酵の時代(昭和 20~25 年)		25
3.2.1 戦争直後の混乱期		25
3.2.2 主なる研究対象		27
3.2.3 真空関係の主なる図書等		28
3.3 真空技術の萌芽の時代(昭和 25~35)		28
3.3.1 光学への応用		28
3.3.2 化学工業への応用		29
3.3.3 電機・電子工業への応用		31
3.3.4 理科学機器		31
3.3.5 金属工業への応用		32
3.3.6 プラスチック工業への応用		35
3.3.7 この時期, わが国で発刊された主なる図書等		40
3.4 真空技術成熟の時代と新たな萌芽(昭和 36 年以降~平成 2 年の 30 年間)		40
3.4.1 成膜技術の革新と成長		40
3.4.2 真空冶金設備の増強と停滞		45
3.4.3 その他の機器, 装置の動向		45
4. 真空利用の概要	中村 一男	49
4.1 先端技術を支える真空技術		49
4.1.1 わが国の産業の変遷		49
4.1.2 先端技術と真空技術		49
4.2 真空の特質		50
4.2.1 古典的特質—ありのままの真空		50
4.2.2 現代的特質—手を加えた真空		50

【II 真空利用に必要な基礎知識】

1. 真空の概念	本間 禎一	55
1.1 真空とは何か		55
1.2 真空の圧力領域区分と利用		56
1.2.1 真空の圧力単位		56
1.2.2 真空の圧力領域区分		56
1.2.3 真空の利用効果と応用分野		57
1.3 気体分子の振舞い		57
1.3.1 理想気体と希薄気体		58
1.3.2 気体の圧力		58
1.3.3 気体分子の熱運動速度		59
1.3.4 平均自由行程		60
1.3.5 壁面をたたく気体分子数		61
1.3.6 気体の流れとコンダクタンス		61
1.3.7 真空中の熱伝導		62
1.3.8 固体表面の気体分子の平均滞留時間		63

2. 真空システムの基礎	三戸 英夫	64
2.1 概 要		64
2.2 真空排気システム作成の基本		64
2.2.1 基本的な考え方		64
2.3 コンダクタンス		65
2.3.1 コンダクタンス合成		66
2.3.2 配管・オリフィスのコンダクタンス		66
2.4 真空排気システム		66
2.4.1 システム構成時の配慮事項		66
2.4.2 S P 特性		68
2.4.3 Q P 特性		69
2.5 排気時間		70
3. 真空環境を作る	山川 洋幸	72
3.1 真空ポンプ		72
3.1.1 はじめに		72
3.1.2 気体移送形真空ポンプ		73
3.1.3 貯込形真空ポンプ		77
3.2 真空機構部品		79
3.2.1 フランジ		79
3.2.2 真空バルブ		82
3.2.3 導入端子		84
3.2.4 真空内駆動機構		85
4. よりよい真空環境を作るために	上田 新次郎	88
4.1 概 要		88
4.2 容器材料の動向		88
4.2.1 ステンレス鋼のガス放出速度		88
4.2.2 アルミニウム合金のガス放出速度		91
4.3 真空ポンプの動向		92
4.3.1 ターボ分子ポンプとクライオポンプの台頭		92
4.3.2 磁気軸受ターボ分子ポンプ		93
4.3.3 広域形(複合)ターボ分子ポンプ		93
4.3.4 ドライポンプ		94
4.3.5 極高真空ポンプ		96
4.4 超高真空化の意味		97
4.4.1 水の挙動		97
4.4.2 水の制御		98
4.5 終わりに		99
5. 真空下の各種測定法		100
5.1 全圧計測	清水 肇	100
5.1.1 概 要		100
5.1.2 全圧計測法		101
5.1.3 真空計測の注意点		103

5.1.4	終わりに		104
5.2	分圧測定	清水 肇	104
5.2.1	はじめに		104
5.2.2	分圧計測法		105
5.2.3	活性粒子計測法		105
5.3	粒子束(フラックス)測定	坂本 雄一	107
5.4	プラズマの計測および荷電粒子速度計測	坂本 雄一	108
5.4.1	概要		108
5.4.2	単粒子模型を用いる測定		108
5.4.3	集団模型に基づく測定(マイクロ波による測定)		110
5.4.4	分光による測定		112
5.4.5	荷電粒子速度の測定		112
6.	ホットバキューム	小林 正典	113
6.1	概要		113
6.2	ホットバキューム下での現象の記述		113
6.2.1	観測された現象：光脱離		113
6.3	ホットバキューム(放射光照射)下で使用されてきた材料と処理		115
6.4	その他の現象		115
6.4.1	放射光照射における記憶効果		115
6.4.2	大電力が通過するセラミック		115

【III 真空利用の現状】

1.	電子工業		119
1.1	半導体(1)		119
1.1.1	成膜・蒸着	清水 三郎	119
1.1.2	スパッタ	細川 直吉	126
1.1.3	半導体製造プロセスにおける薄膜形成技術(CVD)	吉見 武夫	132
1.2	半導体(2)		140
1.2.1	ドライエッチング	岡田 隆	140
1.2.2	イオン注入	高橋 武人, 大崎 三郎	145
1.3	記録媒体	大内 一弘	151
1.3.1	記録媒体の種類		151
1.3.2	薄膜磁気記録媒体の条件		151
1.3.3	薄膜磁気記録媒体の基本作成技術		154
1.3.4	薄膜磁気記録媒体の性能		157
1.3.5	真空成膜装置に要求される機能		158
1.3.6	終わりに		160
1.4	表示素子		161
1.4.1	平面ディスプレイ	森本 弘, 石井 三男	161
1.4.2	電子管	三角 明	173
2.	材料工業		183
2.1	高品質表面材料		183

2.1.1	高品質表面材料	松田 耕自	183
2.1.2	高分子薄膜	矢部 明	194
2.2	高温(熱プラズマプロセッシング)	寺嶋 和夫, 吉田 豊信	205
2.2.1	はじめに		205
2.2.2	高周波熱プラズマ		205
2.2.3	成膜プロセッシングへの応用		208
2.2.4	終わりに		212
2.3	高純度物質	河野 昌	213
2.3.1	はじめに		213
2.3.2	電子工業用高純度材料の特徴		213
2.3.3	高純度化の方法		213
2.3.4	高純度材料の分析法		214
2.3.5	高純度材料の品質と用途		214
2.3.6	高純度材料と真空		216
2.4	ダイヤモンド薄膜	瀬高 信雄	217
2.4.1	はじめに		217
2.4.2	ダイヤモンドの気相合成に関するWilsonの説		217
2.4.3	ダイヤモンドの気相合成		218
2.4.4	原子状水素の役割		219
2.4.5	直流電界効果		220
2.4.6	荷電粒子によるダイヤモンド合成		221
2.4.7	終わりに		222
3.	光学工業		223
3.1	光学部品	大工原 茂樹	223
3.1.1	光学部品と真空を利用した薄膜形成		223
3.1.2	光学薄膜の基礎理論		223
3.1.3	光学薄膜の応用		226
3.1.4	光学薄膜作成装置		231
3.1.5	光学薄膜作成における注意点		237
3.1.6	薄膜作成技術に関する最近の話題		238
3.1.7	終わりに		240
3.2	ニューガラス	鈴木 巧一	240
3.2.1	はじめに		240
3.2.2	表面処理ガラスの製法		241
3.2.3	代表的表面処理ガラス製品の現状		242
3.2.4	重要技術課題と新技術		248
3.2.5	終わりに		251
4.	食品・薬品工業	及川 永	253
4.1	概 要		253
4.2	分離・精製		254
4.2.1	真空蒸留・分子蒸留		254
4.3	乾 燥		256

4.3.1	真空乾燥, 真空凍結乾燥	256
4.3.2	真空冷却	258
4.4	その他の応用	261
4.4.1	真空濃縮	261
4.4.2	真空解凍	261
4.4.3	真空脱臭・真空脱気	261
4.4.4	真空発泡	261
4.4.5	真空含浸	261
4.4.6	真空くん蒸	261
4.4.7	その他	261
4.5	貯蔵	262
4.6	真空包装・プラスチック工業	262
4.6.1	真空成型	262
4.6.2	食品産業への応用	263
4.7	今後の問題点	265
4.7.1	真空ポンプ	265
4.7.2	真空計	265
5.	分析機器・計測機器工業	266
5.1	分析機器	保刈 大治 266
5.1.1	概要	266
5.1.2	分析機器と真空	266
5.1.3	分析機器に真空がなぜ必要か	268
5.1.4	分析機器に用いられる真空装置	274
5.1.5	真空技術に対する今後の期待	277
5.2	計測機器	大迫 真治 278
5.2.1	はじめに	278
5.2.2	真空薄膜プロセス計測	278
5.2.3	真空中の計測に特徴的なこと	285
6.	機械工業	田井 雅彦 286
6.1	真空輸送, リークテスト, 真空炉等	286
6.1.1	はじめに	286
6.1.2	差圧を利用	286
6.1.3	気体分子の減少を利用	290
6.2	その他	293
6.2.1	はじめに	293
6.2.2	薄膜形成, Siマイクロマシーニング, 表面改質	293
6.2.3	表面組成改変	297
6.2.4	真空応用技術による製品の利用	297
7.	エネルギー技術	298
7.1	太陽光発電—太陽電池製造技術—	坂田 功 298
7.1.1	はじめに	298
7.1.2	a-Si:H 太陽電池の製造技術	299

7.1.3	多結晶Si 太陽電池の製造技術		303
7.1.4	終わりに		304
7.2	太陽熱利用技術	田中 忠良	305
7.2.1	はじめに		305
7.2.2	太陽熱利用技術の概略		305
7.2.3	選択透過膜と選択吸収面		306
7.2.4	終わりに		310
7.3	熱電変換	増田 俊久	311
7.3.1	はじめに		311
7.3.2	熱電発電		311
7.3.3	熱電子発電		313
7.3.4	AMTEC		315
7.4	燃料電池と電池	根岸 明	317
7.4.1	固体電解質燃料電池		317
7.4.2	リチウム電池		322
7.5	真空断熱	田中 忠良	323
7.5.1	はじめに		323
7.5.2	真空での熱の流れ		323
7.5.3	高真空断熱法		325
7.5.4	終わりに		326
7.6	その他	神本 正行	326
7.6.1	耐腐食性・耐熱性セラミック		326
7.6.2	高密度ポリエチレン(潜熱蓄熱材料)の表面架橋		326
7.6.3	炭素材料のぬれ性改善		327
7.6.4	フライホイールの真空容器と真空軸受		328
8.	環境技術(ごみ真空輸送装置)	手島 茂	330
8.1	概要		330
8.2	ごみ真空輸送装置の概要		330
8.3	真空技術からみたごみ真空輸送装置の特徴		332
8.3.1	真空度		332
8.3.2	真空系の形成		332
8.3.3	真空ポンプの形成		332
8.3.4	真空破壊弁(大気導入弁)		332
8.4	ごみ真空輸送技術の生いたち		334
8.5	ごみ真空輸送装置の発達		335
8.6	終わりに		336
9.	航空・宇宙工業		337
9.1	航空機, ロケット製造	工藤 勲	337
9.2	人工衛星, 宇宙機器製造	平田 正紘	347
9.2.1	宇宙環境と人工衛星		347
9.2.2	熱真空試験用の大形スペースチャンバ		348
9.2.3	人工衛星搭載用機器のスペースチャンバ		354

9.2.4	イオンエンジン用スペースチャンバ	356
9.2.5	部品や材料の試験用真空装置	358
9.3	ウェーク	平田 正紘 359
9.3.1	宇宙環境の真空	359
9.3.2	極高真空の作成	360
9.3.3	ウェークの利用計画	360
9.3.4	ウェークの用途	362
9.3.5	今後の課題	363
10.	ビッグサイエンス	364
10.1	加速器(大形)	齊藤 芳男 364
10.1.1	はじめに	364
10.1.2	大形加速器の真空	364
10.1.3	終わりに	371
10.2	小形シンクロトロン放射光源と医学用加速器	富増 多喜夫 372
10.2.1	はじめに	372
10.2.2	小形SR光源開発の動向と強力な長寿命SR光源開発の見通し	372
10.2.3	医学用加速器	378
10.3	核融合開発	村上 義夫 382
10.3.1	はじめに	382
10.3.2	核融合装置の概要	382
10.3.3	核融合開発と真空技術	384
10.3.4	プラズマ対向壁の問題	384
10.3.5	トカマク形核融合装置の例	385
10.3.6	真空技術面での先駆的研究と技術の波及効果	388
10.3.7	終わりに	391

[IV 真空下の諸現象]

1.	作業粒子と物質の相互作用	395
1.1	はじめに	坂本 雄一 395
1.2	光	青柳 克信 396
1.2.1	はじめに	396
1.2.2	真空紫外光	396
1.2.3	光発生	398
1.2.4	光電子放出	399
1.2.5	光表面反応	401
1.2.6	終わりに	403
1.3	電子	坂入 英雄 404
1.3.1	電子利用の一例—分析形電子顕微鏡	404
1.3.2	散乱現象の概観	405
1.3.3	非弾性散乱	407
1.3.4	2次電子放出	408
1.3.5	終わりに	409

1.4	イオン, 中性粒子	加藤 茂樹	410
1.4.1	はじめに		410
1.4.2	イオンと中性粒子の特徴		410
1.4.3	イオンと中性粒子の分類要素		410
1.4.4	中性粒子の発生		411
1.4.5	イオンおよび中性粒子と物質との相互作用		411
1.4.6	イオンと中性粒子によって引き起こされる効果		413
1.4.7	イオンと中性粒子の利用分野		413
1.4.8	新しい利用分野における問題点と解決法		415
1.4.9	終わりに		416
1.5	励起粒子	鷺田 伸明	417
1.5.1	はじめに		417
1.5.2	励起原子・分子		417
1.5.3	励起原子・分子の発生法		419
1.5.4	励起原子・分子の測定法		422
1.5.5	励起原子・分子の反応		424
1.5.6	励起状態の素過程		424
1.6	プラズマ	坂本 雄一	426
1.6.1	はじめに		426
1.6.2	単粒子の運動		426
1.6.3	プラズマ粒子の集団運動		429
2.	超微粒子による量子効果, 磁性効果	河野 昌	433
2.1	超微粒子		433
2.2	超微粒子の生成法		433
2.3	超微粒子の特徴		433
2.4	超微粒子の性質		434
2.5	超微粒子の取扱い		436
2.6	超微粒子の応用		436
3.	励起物質化学		437
3.1	State to State Chemistry	清水 肇	437
3.1.1	はじめに		437
3.1.2	新しい材料創製に向けて		437
3.1.3	光と物質の相互作用		439
3.1.4	表面と光の相互作用		443
3.1.5	物質供給としての光表面励起		448
3.1.6	表面光非線形効果		449
3.1.7	終わりに		450
3.2	非平衡物質・相		451
3.2.1	イオン励起プロセス	小林 直人	451
3.2.2	光励起プロセス	英 貢	460

【V 21世紀を目指して】

1. 極限技術	471
1.1 極高真空技術	大島 忠平 471
1.1.1 はじめに	471
1.1.2 極高真空技術の必要性	472
1.1.3 極高真空技術	475
1.1.4 10^{-10} Paの極高真空の発生の試み	476
1.1.5 終わりに	477
1.2 ウルトラクリーンテクノロジー	大見 忠弘, 森田 瑞穂 478
1.2.1 はじめに	478
1.2.2 ウルトラクリーンテクノロジー	478
1.2.3 半導体プロセスにおける真空	479
1.2.4 半導体プロセス用真空技術	481
1.2.5 クローズド製造システム	485
1.2.6 終わりに	488
1.3 超低温技術	佐藤 武郎 490
1.3.1 はじめに	490
1.3.2 量子流体による超低温生成	491
1.3.3 核断熱消磁冷却	500
1.3.4 超低温実験における問題点	501
1.3.5 終わりに	501
1.4 高密度エネルギー利用技術	矢野 雅昭 502
1.4.1 はじめに	502
1.4.2 高密度エネルギー状態の発生	503
1.4.3 高密度エネルギー状態の応用	508
1.5 超伝導ークライオエレクトロニクス	幸坂 紳 515
1.5.1 はじめに	515
1.5.2 ジョセフソン効果	515
1.5.3 ジョセフソン素子作製技術	517
1.5.4 超伝導量子干渉計(SQUID)	518
1.5.5 ジョセフソン電位差計	521
1.6 レーザ技術	前田 三男 523
1.6.1 21世紀は「光」の世紀	523
1.6.2 レーザの応用分野	524
1.6.3 レーザ装置	530
1.7 イオンビームプロセス	山田 公 535
1.7.1 はじめに	535
1.7.2 イオンビームプロセスの特長	535
1.7.3 イオンビームによる新材料開発	541
1.7.4 終わりに	550
1.8 核融合の先端技術への波及効果	日野 友明, 山科 俊郎 551

1.8.1	はじめに	551
1.8.2	核融合技術の概要と特徴	551
1.8.3	核融合技術の波及効果の概要	553
1.8.4	真空系関連技術の波及効果	555
1.8.5	終わりに	560
2.	情報・エレクトロニクス分野	561
2.1	先端デバイス	白木 靖寛 561
2.1.1	はじめに	561
2.1.2	超微細加工とデバイス	562
2.1.3	三次元回路素子	564
2.1.4	超高速デバイス	564
2.1.5	薄膜トランジスタ	565
2.1.6	終わりに	566
2.2	真空マイクロエレクトロニクス	伊藤 順司 567
2.2.1	はじめに	567
2.2.2	微小フィールドエミッタ	567
2.2.3	超高速・耐環境素子	571
2.2.4	半導体プロセスへの応用	573
2.2.5	フラットパネルディスプレイへの応用	574
2.2.6	今後の展望	575
2.3	オプトエレクトロニクスにおける真空技術	牧田 雄之助 577
2.3.1	オプトエレクトロニクスデバイスの発展	577
2.3.2	薄膜化と微小化	577
2.3.3	オプトエレクトロニクス・デバイス用材料の高品質化と真空技術	578
2.3.4	高品質半導体エピタキシャル膜への高制御不純物導入技術	589
3.	先端材料分野	593
3.1	傾斜機能材料・複合材料	593
3.1.1	傾斜機能材料	塩田 一路 593
3.1.2	複合材料	大蔵 明光 601
3.2	生体関連(生活・医療材料)	立石 哲也 607
3.2.1	生体材料の必要条件	607
3.2.2	チタンおよびチタン合金	607
3.2.3	ニオブ, タンタル	609
3.2.4	多孔性金属	610
3.2.5	金属コーティング材	611
3.3	光材料, 超薄膜	612
3.3.1	ヘテロ電子材料のin-situ評価	生駒 俊明, 橋本 佳男, 野口 充宏 612
3.3.2	半導体量子井戸および光機能素子	荒川 泰彦, 永宗 靖 618
3.3.3	金属系超薄膜	北田 正弘 627

4. 生活関連分野		633
4.1 都市空間	井上 護	633
4.1.1 都市廃棄物の管路式収集輸送システム		633
4.2 宇宙空間	工藤 勲	643

[VI その他]

1. 真空材料	本間 禎一	651
2. 電子線ホログラフィー	外村 彰	653
2.1 概 要		653
2.2 極微の磁力線の観察		653
2.3 試料厚さや凹凸の測定		654
2.4 アハラノフ・ボーム(A B)効果の検証実験		654
3. 低誘導放射合金—真空が担う未来技術	朝倉 健太郎	655
4. 単結晶タービンブレード	太田 芳雄	658

[VII アンケート]

1. 今後開発が望まれる真空利用機器	三戸 英夫	664
1.1 現在、開発が最も望まれている真空機器		664
1.2 真空機器を開発するうえで重要な関連技術		665
1.3 真空機器の利用拡大を図るために克服すべき問題点		665
1.4 新しい真空機器の開発が最も望まれている分野		666
2. 真空産業発展のための課題	三戸 英夫	667
2.1 薄膜加工関連装置を開発するうえでの重要課題		667
2.2 今後、中・高真空が利用される分野と利用拡大のための要素技術		668
2.3 真空産業が宇宙環境利用分野に伸びていくためになすべきこと		669
2.4 真空機器に対するコスト、信頼性への不満の原因		670
2.5 真空産業発展のための体制整備にはなにが重要か		671
3. 極高真空に関する意識調査	及川 永	672
3.1 経 緯		672
3.2 アンケートの内容		672
3.3 調査結果		673