まえがき

数学と物理が得意であるはずの理工系学部や高専の学生にとっても、電磁気学は難解であると思われて不人気の科目の1つである。その原因は2つあると考えられる。1つは電磁気で扱う物理量が '目に見えない' ことによるイメージ形成の困難さである。力学における物体の落下や慣性の法則などは日常よく経験することであり、常識として感覚的に受けいれることができる。しかし、電磁気学が対象とする電荷や電流のイメージを描くことは、初めて電磁気学を学ぶ学生にとっては難しい。常識とは一種の '慣れ' だからである。さらに、電磁気学で初めて登場する電界や磁界といった '場の概念' は日常の世界とあまりにもかけ離れている。もう1つは、電磁気学で用いられる数学である。電磁気学に限らず物理現象を正確に記述するには数学が不可欠ではあるが、多くの初学者にとってはそれに気をとられて数式の表す物理的内容を見失ってしまう。このため、どちらに重きを置くかによって '講義の数だけ教科書がある' というくらいたくさんの教科書が出版されている。

前者の電磁気学的イメージ形成に重点をおく教科書は確かにわかったような気にさせてく れるが、いざ実際の問題に直面するとそれを解決するための手がかりが乏しいことに気づか される.また,電気力線や磁力線は理解の助けにはなるが物理現象を正確に表すものではな い. これに対して後者の教科書では, 一見難しそうな数式が並んでいるため, 最初から '食わ ず嫌い' の状態に陥ってしまう.また,数式の物理的意味を理解するには少なからず経験を 積む必要があり、初学者にとってやはり高い壁になる。筆者らも決してスムーズに乗り越え てきたわけではなく教科書を何度も読み返した記憶がある.このとき役に立ったのは,丁寧 な説明と理解を助ける演習問題であった.要点をまとめた教科書や公式集は、いったん理解 した読者には使いやすいが、初心者は行間を埋めるべき講義のペースについていけないこと もあり、単なる式の暗記に追われて、結局本質をつかむ機会を失うことがある.このような 経験から,冗長との批判を覚悟してできるだけ丁寧な説明を心がけた.また読者がつまずき そうな部分には例題とその詳細な解答を付け加え,何度読み返してもそれに耐え得る教科書 になるよう努力した、欧米では決して珍しくないが、本書のような出版社泣かせの厚い本を 出版させていただいたのは、偉大な先人達が築き上げた電磁気学的自然観とそれを集約した 自然法則の意味をよく理解すると共に、専門分野に進むための知識や問題解決能力を身に付 けてほしいという願いからである.また,電磁気学がどのように形成されていったかを伝え るための歴史的事情や、電磁気学が現代生活にどのように生かされているかについても簡単 に紹介した. 息抜き程度に読んでいただきたい.

本書は理工系学部や高専の学生向けの教科書・参考書として執筆されたもので、電磁気学 的イメージの把握を重視しながらも、高校卒業程度の数学的知識があれば導かれた数式の物 理的意味が正確に理解できるように工夫されている.2章では電磁気学を学ぶために必要な 最小限度の数学的事項をまとめた、多くの大学や高専ではベクトル解析の講義もほとんど同 時期に行われているであろうから、これらに習熟していると思う読者は読み飛ばしても差し 支えない.また,初学者にはやや高度であると思われる節,項にはそのタイトルに * マーク を付けた.必要に応じて取捨選択してほしい.その後は電荷の運動という観点から,わかっ た歴史の順番に沿って述べられている.3章から5章までは、電荷が静止している場合に空 間にどのような電界ができるかを説明している. '場'という概念が最初に登場することから、 それについて詳しく説明している.3 章は自由空間中の電界について,4 章は誘電体中の電 界と分極について説明する. また 5 章はやや数学的色彩が強いが, 静電界の問題を解く正統 的な手法であることと、物性の分野では最初からこのような取り扱いをすることが多いため、 章を改めて解説した.初学者は必要な部分だけを選んで読んでほしい.電荷が移動すると電 流になるが、6章は最も簡単な定常的に流れる電流の性質を述べている。電流が流れると周 りに磁界ができることは周知の通りである. 7章と8章は定常電流による磁界と磁性体によ る磁界について述べた章である.9章からは、電荷が加速度運度して電界と磁界が共に時間 的に変化する場合を扱うが、9章はその変化が緩やかな場合にどのような現象が起こるかを 説明する.そして 10 章でマクスウェルの方程式という電磁界を規定する方程式にたどり着 いて、いわゆる古典電磁気学が完成する。これで電磁気学は一応完結するが、電磁気学と電 気回路や電子回路とは別の分野だと考えている学生も少なくないため,11 章をあえて付け加 えた、この章ではマクスウェルの方程式をどのような条件の下で近似すると回路方程式が導 かれるかを説明して、電磁気学と電気回路との橋渡しを行う...

最後に本書は、いろいろな方々からのご協力、ご支援によって完成することができた.いままでに出版されているさまざまな書籍や学術論文もまた参考にさせていただいた.主なものは巻末に載せた.有益なご助言をいただいた大学の同僚、電子情報通信学会をはじめとする各種研究専門委員会の委員の皆さんに感謝する.また、この本の基礎となった講義ノートのミスプリントや講義に関する貴重な意見を下さった学生諸君、さらに出版に際し著者のわがままなお願いを聞いて下さったコロナ社の皆さんに大変お世話になった.ここに記して深く謝意を表する.

2010年4月

目 次

1. 序 章

2. 数学的準備

2.1	微分と積	分	7
2.2	スカラ関数と	:ベクトル関数	11
2.3	座標	系	13
2.4	ベクトルの	積	18
2.5	ベクトル関数	女の微分	21
2.6	線 積	分	22
2.7	面積積	分	25
2.8	体 積 積	分	28
2.9	勾	配	29
2.10	ベクトルの	発散とガウスの定理	31
2.11	ベクトルの	回転とストークスの定理	36
2.12	幾つかの重	要なベクトル公式・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	42
2.13	簡単な微分	方程式	45
章	末 問 題…		48
		3. 真空中の静電界	
3.1	電荷の分	布 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	51
3.2	クーロンの法	划	57
3.3	近接作用と電	3界 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	60
3.4	電 気 力	線	67
3.5	ガウスの法	: 則	69

3.6 電界と電位・静電ポテンシャル・・・・・・・ 82
3.7 電気双極子と電気 2 重層 $\cdots 96$
3.8 多重極展開
3.9 静電エネルギーとマクスウェルの静電応力101
3.10 コンデンサと静電容量・・・・・・・・・110
章 末 問 題117
4. 誘電体中の静電界
4.1 静電容量と誘電率・・・・・・・・121
4.2 分極と分極ベクトル ・・・・・・・・・・・・・・・・122
4.3 分極電荷とコンデンサの中の電界 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
4.4 誘電体中の静電界の基本法則・・・・・・・・・126
4.5 一様な誘電体中の電界とコンデンサの容量
4.6 境 界 条 件
4.7 誘電体に働く力*
4.8 コンデンサに働く力と MEMS・・・・・・・142
4.9 誘電体のやや微視的考察 *
章 末 問 題
5. 静電界に関する境界値問題
5.1 静電界の基本法則・・・・・・・152
5.2 境界値問題-ラプラス方程式の解法- 157
5.3 電 気 影 像 法
5.4 等角写像法* · · · · · · 183
5.5ラプラスの方程式の近似解法 * · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
章 末 問 題
6. 定 常 電 流
6.1 定常電流と保存則・・・・・・・・・・190

9.1 ファラデーの電磁誘導の法則 · · · · · · · 287

9.2 運動する導体に発生する起電力・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	290
9.3 電磁誘導に起因する現象・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	293
9.4 電磁誘導を利用した装置・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	296
9.5 準定常電流による磁界	299
9.6 インダクタンス	302
9.7 インダクタンスと磁気エネルギー	311
章 末 問 題	313
10. マクスウェルの方程式と電磁波	
10.1 変 位 電 流	
10.2 マクスウェルの方程式・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
10.3 電磁波の伝搬・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
10.4 エネルギー保存則とポインティングベクトル	
10.5 電磁ポテンシャル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
10.6 正弦振動する電磁界	
10.7 アンテナからの電磁波放射	
章 末 問 題	368
11 南茂左台 6 南左 同吸	
11. 電磁気学と電気回路	
11.1 準定常電流と基本方程式	370
11.2 エネルギー保存則・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	375
11.3 回路方程式	378
11.4 簡単な電気回路・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	380
章 末 問 題	384
引用・参考文献	386
章末問題解答	
索 引	
	100

電気の力と磁気の力

電気の歴史は古い、冬の乾燥した日に衣服が体にまとわりついたり、ドアノブを触ろうとして指先から火花が飛んだりすることがある。これは衣服や人の体が摩擦によって静電気を帯びたためだと説明される。また、子供の頃にわきの下や頭で下敷きを擦って、友達の髪の毛を逆立たせたり、小さな紙切れを吸い付ける遊びを経験した読者も少なくないと思う。中学の理科では、擦り合わせる物の組み合わせによって正に帯電したり負に帯電したりすること、同符号の電荷同士には反発する力が働き、異符号の電荷なら引き合う力が働くことを学ぶ†。こうした静電気の存在は既に紀元前6世紀ころの古代ギリシャ時代には知られていたようで、宝石となる琥珀を磨くために毛皮や毛布で擦ることによって静電気が起き、軽いものを吸い付けることを発見していた。実際、'電気'を表す英語 'electric' は、'琥珀質' というギリシャ語 ' $\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rhoo\nu$ ' に由来し、イギリスのギルバート (W. Gilbert) によって名づけられた。漢字の'電'は、古代中国で'雨' 冠のない文字が稲光を表す象形文字として作られ、それが甲骨文字として刻まれた。

高校生になると、この電気の力をクーロン力とよび、万有引力と同じように距離の2乗に反比例することを学ぶ。万有引力との違いは、クーロン力には引力と斥力の両方があることである。もう1つの違いはその大きさである。万有引力は、2つの物体の質量の積に比例し、距離の2乗に逆比例する。一方、クーロン力はそれぞれの電荷量の積に比例し、距離の2乗に逆比例する。2つの力は全く同じ形をしているが、比例係数が大きく異なる。水素原子のような1つの陽子と1つの電子がある場合に、その両者に加わる力の大きさを、各種の物理定数を代入して計算すると、クーロン力は万有引力に対して2.3×10³⁹倍となり、電気の力が桁違いに大きいという結果が得られる。実感がわかないかもしれないが、陽子と電子に働

[†] 物体と物体を擦り合わせたときの帯電の仕方は、物体を構成している原子の相対的な性質による。例えば、ガラスを絹製の布で擦ると、ガラスには正の電荷、布には負の電荷が帯電する。もともとはデュ・フェがガラスに帯電した電荷をガラス電気、樹脂に帯電した電荷を樹脂電気といったのを、フランクリンがそれぞれを正電気、負電気と命名した。このために、電子の電荷が負となってしまった。帯電しやすさは材質に依存する。ウールやナイロンは正の電荷が帯電しやすく、アクリルやポリエステルは負に帯電しやすい。これに対して紙や革は帯電しにくい。人の体は正に帯電しやすい。

く万有引力が 1 kg を持ち上げる力だったとすると,電気の力は $2.3 \times 10^{39} \text{ kg}$ の物体を持ち上げる力になる.太陽の重量は約 $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ であるから,この電気の力は約 11 億 6 千万個の太陽を持ち上げる力に相当する.このように電荷にはとてつもなく大きな力が働く.正の電荷だけが集まると,大きな力で反発し合い四方八方に飛び散ってしまう.負の電荷同士でも同じである.これに対して正の電荷と負の電荷とがちょうどうまく交じり合うと,正負の電荷は互いにものすごい力で引き合って,最終的にはいわゆる中性の状態になる.

さて、読者は、髪の毛や下敷きを含めてあらゆる物質は、原子や原子が集まった分子でできていることを知っている。原子は、その直径がおおよそ 10⁻¹⁰ m 程度の粒子で、原子核を中心にしてその周りを幾つもの電子が回る構造をしている。そして原子核は、正の電荷をもつ幾つかの陽子と中性の中性子からできていて、負の電荷をもつ電子と合わせて全体としては中性になっている^{†1}. 上で述べたように、電気の力が非常に強いなら陽子と電子がぶつかってしまうのではないかと心配するかもしれない^{†2}. これを防いでいるのが量子効果である。すなわち、電子が陽子に近づこうとすればするほど、大きな運動量をもたなくてはならないというのが不確定性原理 (uncertainty principle) の教えるところである。したがって、電子は図1.1のように原子核の周りのあ

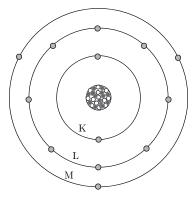


図 1.1 原子模型.電子の軌道は内側から K, L, M, ..., という名前が付いている.各軌道に収容される電子の最大数は決まっており, それぞれ 2, 8, 18, ... である.この図は原子番号 13のアルミニウムの場合で,電子は基本的にはエネルギー準位の低い軌道から詰まっていくので最外殻軌道には3個の電子が存在する.

る軌道を回って運動量を確保するようになる。電子はクーロン力によって原子内に留まっているが、外側の電子ほど原子核からの距離が遠いので束縛は弱くなる。物体と物体を擦り合わせると、接触面では物体を構成する原子や分子が激しく振動して、原子核からの束縛が弱い電子が剥ぎとられ、他の物体に移る。その結果、電子の移動先の物体は負に帯電し、残った側は正に帯電する。摩擦による静電気の発生はこのように物体内の電子の過不足によるものである。このことから、どちらが正に帯電するか、負に帯電するかは物体の組み合わせで決まる。ということも理解できるであろう。

^{†1} 長い間,電子や陽子はそれ以上分割できない基本粒子と考えられてきた。しかし素粒子理論によると、陽子や中性子は、さらに小さなクォーク (quark) という素粒子に分割することができ、現在までに 6 種類のクォークが存在することがわかっている。こうなることの基礎を明らかにした、南部、小林、益川の 3 氏が 2008 年のノーベル物理学賞を受賞したことは記憶に新しい。陽子や中性子はそれぞれ 3 種類のクォークで作られているが、電子については現在のところ、これ以上細かくは分けられないと考えられている。

 $^{^{\}dagger 2}$ 本書で学ぶ古典的電磁気学を水素原子に適用すると、 10^{-11} 秒という短い時間で電子が陽子に衝突してしまう、という結論になる。これは明らかに誤りで、量子力学が生まれるきっかけの 1 つとなった。

一方、陽子はどうして原子核内に局在できるのであろうか.電気の力だけなら反発し合って、飛び散ってしまうはずである.ところが原子核内では核力 (nuclear force) とよばれる電気的な力とは異なる引力が働いていて、これが電気の力より強いために陽子を原子核内にとどめているのである.しかし核力は非常に守備範囲が狭く、電気の力より早く減衰する.すなわち、核力は近接の粒子にしか働かないのに対して、電気の力は核力よりも広範囲に働く.そのため、陽子の数が多くなるとその分だけ電気の力が大きくなって核力との釣り合いが微妙になる.つまり力のバランスが不安定となる.この代表がウランである.このような不安定な状態の原子に中性子をぶつけると、原子が2つに分裂する.両方とも正の電荷をもつから、電気の力によって飛び散る.これが次々と起こるのが核分裂 (nuclear fission) である.一般には核のエネルギーとよばれているが、実は電気の力なのである.これは上で述べたように、万有引力に比べると気の遠くなるほど大きく、莫大なエネルギーとなるのである.

このように、物質の細かな構造、すなわち物質の性質を決めているのは電気の力と量子力学的効果であるが、その境界はどのくらいであろうか。明確な境界があるわけではないが、大よそ 10^{-13} m 程度までは電気的な力が支配的だといわれている。しかしながら、この程度になると '力' という概念さえあやふやになる。そこで本書では原子や分子の構造までは立ち入らないで、それらの電気的性質が平均的に取り扱える程度までの範囲を扱うものとする。

もう 1 つの不思議な力は磁気の力である. 磁気の歴史も電気のそれと同じくらいに古い. 磁気を表す英語 'magnetism' は、小アジアのマグネシア地方で産出する特別な石が金属を引き付けたことに由来しているといわれている. 磁石 (magnet) は、中国でも古い文献に現れ、漢字の'磁'は、'引き付けて次第に強くなる'という意味の'茲'に'石'を組み合わせて作られた会意文字である.

よく知られているように、磁石の N 極同士、S 極同士は反発し合い、N 極と S 極とは引き合う. そこで、電荷と対応づけて、N 極上に正の磁荷、S 極上に負の磁荷があると考えると、それらの間には電荷に対するクーロン力と全く同じ法則が成り立つ. したがって、これを出発点にすれば電気の力と同様の議論ができそうである. 古くはそのようにした教科書もあるが、電気と磁気の決定的な違いは、正や負の電荷は別々にとり出すことが出きるのに対して、磁荷は単独では存在できず、必ずペアで発生するということである. このことは 図 1.2 のように、磁石を

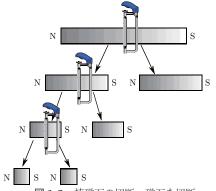


図 1.2 棒磁石の切断. 磁石を切断 しても N あるいは S 極だけの単 極をとり出すことができない.

いくら細かく切っていっても必ず N 極とS 極とが対になって現れることから理解できよう.

また、上で述べたように全ての物質は原子でできているのであるから、磁気に対するクーロン力も電子の運動に起因するものであると考えるのが理にかなっている。実際、電荷に対するクーロンの法則から磁界の法則を導くことも可能であるが、それには相対性理論の知識が必要となる。

一方,電荷が運動するということは、電流が流れるということである。電流が流れると問りに磁界ができるということは高校の物理で学んだ通りである。本書でもこの事実を基本原理の1つとして磁界に関する諸現象を説明することにする。そうすると、磁石の内部にも永久に流れ続ける電流がなければならないことになる。多くの物質ではこのように考えることができるが、鉄のような強磁性体では、この電流の効果よりも電子のスピンによる量子力学的な効果の方がはるかに大きい。これに関しては、量子力学の詳細には入らずに本書では現象論的な説明にとどめておくことにする。

電気的な力が電荷(電子)に作用すると、電荷はある速度で運動する.電荷が運動すると磁界が発生し磁気的な力も作用する.これらの電磁気的な力が電荷の運動を支配する.これと同時に、運動する電荷は周りの空間に電気的な作用と磁気的な作用を及ぼす.これが電波¹¹であり、光である.電波は目には見えないが、その存在は疑いようのないことである.読者は数十 km 離れた放送局の電波を受けてテレビを見ているし、携帯電話も利用しているからである.ここで想像してみてほしい.電波を発生しているのは数十 km 離れたアンテナ上を振動する電子であり、それが数十キロメートル離れた読者のアンテナ上の電子を動かしているのである.この現象を理解するのが電磁気学や電磁波工学であり、情報をうまく伝達するためには電子の動きをどのように制御したらよいかを学ぶのが通信工学である.

単 位 系

物理量である質量や長さを測定したとき、それらは数値に単位を付けて、20 kg とか 5 m と表す. 一般に物理量を表す記号には、英文字やギリシャ文字の斜体を、また単位には、立体の文字を使って両者を区別して表記する. 単位は物の数え方と同様に何かを基準として、その何倍であるかを表すために用いる. 足の大きさを基準としたフィートはその典型例である.

いろいろな経緯で過去に使われてきた様々な単位を、国際的に統一する実用計量単位系として、国際 (SI) 単位 (SI unit) が定められている $^{\dagger 2}$. 表 1.1 に 7 つの基本単位を示す。電気と関連が深い電流の単位はアンペア [A] で、フランスの物理学者 A.M. Ampére の名前に因んでいる。以前は、硝酸銀の水溶液から電気分解して得られる銀の析出量を基に、電流 1

 $^{^{\}dagger 1}$ 電波とは、 $3 \times 10^{12}~{
m Hz} = 3~{
m THz}$ (テラヘルツ)以下の周波数の電磁波のことである.

 $^{^{\}dagger 2}$ SI は、フランス語の Sytéme International d'Unités に由来する。単位とは一朝一夕に決まったものではなく、決まるまでには長い歴史があり、現在でもなお見直しが進められている。詳細については例えば、巻末の引用・参考文献 16) を参照されたい。

表 1.1 SI 基本単位

表 1.2 代表的な SI 組立単位

物理	1 量	記号	基本単位
長	さ	l	メートル (m)
質	量	m	キログラム [kg]
時	間	t	秒 [s]
電	流	I	アンペア [A]
温	度	T	ケルビン 〔K〕
物質	量	n	モル [mol]
光	度	I	カンデラ 〔cd〕

物 質 量	組立単位	基本単位による表現
力	ニュートン (N)	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
エネルギー	ジュール [J]	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
仕 事 率	ワット (W)	$\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{kg}\cdot\mathrm{s}^{-3}$
電荷	クーロン [C]	$s \cdot A$
電 圧	ボルト (V)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
静電容量	ファラッド〔F〕	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
抵 抗	オーム [Ω]	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
磁束密度	テスラ〔T〕	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリ (H)	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2} \cdot \mathrm{A}^{-2}$

A の大きさが決められていた. しかし, 1948 年以降は, '真空中に 1 m 離しておかれた 2 本の細い平行導線のそれぞれに同じ電流を流したときに, 長さ 1 m あたり 2×10^{-7} N の力を及ぼす電流の強さ'と定められている. これについてはまた後の章で詳しく述べる.

これらの基本単位だけを用いても物理量を表すことができるが、単位の組み合わせが多くなり、表記も煩雑となる。そこでこれらを組み合わせて作った組立単位も使われる。電磁気学の分野でよく使われる組立単位を表 1.2 に示す。こうした単位には、歴史的な実験や発見に関係した科学者の名前に因んだものが多い。例えば、イタリアのボルタ (A. Volta) が、1799年にいわゆるボルタの電池を発明した。この発明によって初めて連続的な電流がとり出せるようになった。ボルタ電池は、希硫酸溶液の中に銅と亜鉛の棒を立てたもので、銅が正の電極、亜鉛が負の電極となり、両者の間に 1.10 V の電位差が生じる 1.10 この電位差が後の 1 V の基になっている。また抵抗の 1 10 については、ジーメンス (S. Siemens) によって、断面積 1 10 10 で長さ 1 10 10 10 10 を標準に使おうという提案がなされたこともある。彼の名前は、抵抗の逆数である 10 10 10

一方平面角度の単位としては、一般には度 [°] がよく使われているが、本書ではラジアン (radian) を用いる。ラジアンで表される角度の値は、単位円上に射影した周上の弧の長さに相当する。したがって 360° は、円周全部の長さ 2π ラジアン [rad] に対応する。平面内の角度と同じようにして、曲面を見込む角度を立体角といい、単位はステラジアン [sr] を使う $^{\dagger 2}$. この立体角については、3 章で詳しく説明する。

物理量が桁外れに大きかったり、小さかったりした場合には、単位の前に 10 の累乗を表す接頭文字を付けてもよいことになっている.表 1.3 に SI 単位で用いることのできる接頭文

^{†1} 最初にボルタが使ったのは、塩水に銀と亜鉛の電極であったといわれている。彼はいろいろな電極や溶液を試していて、銅と亜鉛の電極で希硫酸を用いた電池の発明は1815年といわれている。

^{†2} 角度の単位は SI 補助単位であったが、1995 年の国際度量衡総会において、その区分の廃止が決定され、現在は無次元の組立単位とされている。

接頭文字	記号	倍数	接頭文字	記号	倍数	接頭文字	記号	倍数
ヨクト	у	10^{-24}	ミリ	m	10^{-3}	メガ	M	10^{6}
ゼプト	z	10^{-21}	センチ	С	10^{-2}	ギガ	G	10^{9}
アト	a	10^{-18}	デシ	d	10^{-1}	テラ	Т	10^{12}
フェムト	f	10^{-15}		_		ペタ	Р	10^{15}
ピコ	р	10^{-12}	デカ	da	10	エクサ	E	10^{18}
ナノ	n	10^{-9}	ヘクト	h	10^{2}	ゼタ	Z	10^{21}
マイクロ		10^{-6}	十 口	k	10^{3}	ヨ タ	Y	10^{24}

表 1.3 SI 単位系で用いる接頭文字

字を示す。ここで 10^3 を表すキロ [k] 以下の小さな累乗の接頭文字は小文字を、それより大きな累乗の場合は、大文字を使うことに注意してほしい。

以下本書では、使用する英文字が何を表すかを区別しやすいように、フォントを変える。例えば 'A' が点を表したり、電流の単位であるアンペアの意味なら立体フォント A で、変数を表すならば斜体フォント A で、そしてベクトル、もしくは行列ならば斜体太字フォント A で表すことにする。また電磁気学を含め、物理、化学、数学の分野では、多くの物理量や変数を表すのにギリシャ文字を用いる。参考のため、表紙の見返しにギリシャ文字をまとめた。

重ね合わせの原理と電荷保存の法則

重ね合わせの原理は極めて重要な原理である。電荷に働く力を例にとって説明しよう。図 1.3 のような 3 つの電荷 A, B, C があったとする。電荷 A に働く力 F_A は,電荷 B による力 F_B と電荷 C による力 F_C を別々に考えて(もちろんベクトルの意味で)加え合わせたものになる。これを重ね合わせの原理(superposition principle)という。これは 2 個の電荷間に働く力が,他の電荷によって影響されないということも意味する重要な原理である。重ね合わせの原理は実験事実に基づくものであるが,これに反する事実はいまのところ見出されていない。重ね合わせの原理は電荷が運動していても成り立つし,

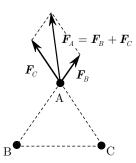


図 1.3 重ね合わせの原理. F_B を考えるときには電荷 C は考えなくてよい. F_C も同様である.

磁気に関しても成り立つ. したがって、多数の電荷があっても 1 つひとつの電荷に関する原理がわかりさえすればよいことになる. 数学では、線形性 (linearity) という言葉を学習するが、ここで使っている重ね合わせの原理と同じと思ってよい.

電荷保存の法則 (conservation law of electric charge) とは、素粒子の領域に至るまでいかなる化学的・物理的反応においても電荷の総量は変わらないという法則であり、電荷保存則ということもある。実験事実に基づく法則であるが現在までに反例は見つかっていない。

索引

【あ】 電磁界 342 一応答 38 アース 94 一保存則 342 一電流 19 アインシュタイン 62 エルステッド 214 カロリー 19 網目 209 エレクトレット 149 関数 アンテナ 345 遠隔作用 60 グリーン 35
アインシュタイン62エルステッド214カロリー19網目209エレクトレット149関数アンテナ345遠隔作用60グリーン—35
網目209エレクトレット149関数アンテナ345遠隔作用60グリーン——35
アンテナ 345 遠隔作用 60 グリーン—— 35
ダイポール―― 365 演算子 超―― 5
アンペア 4, 217 ラプラス— 42, 153 調和— 18
・ターン 268 縁端効果 158 デルタ 5
——の力 219 の注則 【お】
積分形の―― 246 応答 完全反磁性 27
微分形の―― 245 定常―― 381 完全導体 7
·マクスウェルの法則 319 オーム 194 環路 20
の右ねじの法則 216損 198 緩和時間 191,30
【い】
NEXT
位相定数 360 静電—— 109 起磁力 26
一般解 46 オンネス 278 気体放電 9
移動度 192
1 ンタグタンス
合成——解4
自己—— 302 一般—— 46 ——単位
相互 303 特 46 逆起電力 20 インピーダンス 382, 383 特異 46 キャパシタ 11
インピーダンス 382, 383 特異— 46 キャパシタ 11 固有— 335 特殊— 46 キャベンディッシュ 58, 9
波動
【う】
うず電流 295 ガウス 219 ——温度 27
- 損 295 — の定理 35 — ・ ワイスの法則 27
運動量モーメント 36 ——の法則 70, 128, 243, 319 ——の法則 147, 27
(積分形) 72
【え】
永久
映像 拡散電位 188 ——法 17
——電荷 176 核分裂 3 局所電界 12
エーテル 62 重ね合わせの原理 6 曲面 2
枝 209 仮想変位法 115 ギルバート

キルヒホッフ	209	コロナ放電	96	誘導	298
の法則	209, 210, 269	コンダクタンス	5, 195	——力	81
近接作用	60	コンデンサ	110, 317	磁石	3
金属	77	近藤効果	211	永久——	279
[<	. 1	【さ】		磁性体	254
				強——	150, 255
空間電荷層	188	サイクロトロン		常——	255
空中線	345	——運動 運動	225	反——	255
空乏層	188	——角周波数	225	磁束	219, 243
クーロン	57	サバール	229	線	243
の法則	57, 80	ビオ・――の法則	230	密度	219, 220
——力 ·	1, 133	座標系		時定数	300
クォーク	2	一般直交——	18	磁場	215
屈折	135, 204	円柱——	15	ベクトル カポポル	220
――の法則	204	円筒——	15	自発磁化	274
組立	_	球——	17	ジャイロ磁気係数	257
——単位 5	5	直角——	13	写像	185
クラウジウス-モン		残留	075	周期	337
関係式	149	磁化	275	自由空間	332
グラスマン グリーン	18	——磁気 磁束密度	275	周波数分散性	122
	95.6	——磁束密度	275	ジュール	100
——関数	356	[L]		——熱	198
の定理	44		0.07	の法則 循環	198, 199
[(-	†]	磁位 	$\frac{265}{267}$	^{循環} 準静近似	37 374
ゲージ変換	239		254, 258	华静電界	365
結合係数	304	永久——	279	条件	303
ケルヴィン	177	ベクトル	258	ローレンツ――	348
減衰定数	360	誘導	279	常磁性体	255
原理	500	——率	262	障壁層	188
重ね合わせの―		磁荷	214	磁力線	214
検流計	221	単	322		
		磁界	215, 261	【す】	
[2	- 1	――ベクトル	220	スカラ	12
高温超伝導体	211	時間		——積	18
効果		緩和——	191	——場	12
緑端——	158	磁気		――ポテンシャル	89
近藤——	211	――エネルギー	312	ストークスの定理	42, 45, 50
ゼーベック――	- 211	——回路	266	ストラットンの定理	44
表皮——	294	——双極子	256	スネルの法則	361
ペルティエ	212	――双極子モーメント	220	【せ】	
ホール――	228	——の力	3	1.61	
マイスナー——	- 211	——抵抗	267	静磁界	215
AB	235	――ヒステリシス現象	. 276	斉次方程式	45
コーシー・リーマ		誘導	254	静電	
合成インダクタン		履歴 	276	――エネルギー	105, 130
光速	336	磁極	214	——応力	108, 109
勾配	31, 87	磁区	274	遮蔽	93
交流回路理論	371	自己		——界	62
国際単位	4	インダクタンス	302	――偏向型ブラウン	
固有インピーダン	ス 335	——減磁作用	283	――ポテンシャル	82, 89

誘導	79	【た】		自由——	125
——容量	103			真——	125
ゼーベック効果	211	耐電圧	143	素——	51
積		ダイポールアンテナ	365	点——	52
外——	18	多重極展開	101, 189	分極——	123
スカラ――	18	縦波	334	保存の法則	6, 79, 299
内——	18	単位		みかけの――	125
ベクトル――	18	基本——	4	密度	53
積分	10	組立——	5	電界	62
経路—— 線——	22, 37	――電荷量	51	外部——	207
体——	22, 37 28	――法線ベクトル 単極子	25	局所—— 準静——	123 365
体積——	28 28	電気——	96		62
定——	10		90	——电介 分子——	123
2 重——	11	【ち】		—————————————————————————————————————	96
表面——	26	遅延ポテンシャル	355	ホール――	228
面——	26	超関数	56	誘導——	291
面積——	26	超伝導	211	ローレンツ――	148
絶縁	121	超電導	211	電界槽法	206
休	78, 121	——体	278	電気	
破壊	96	調和関数	183	——感受率	126
接触電位差	200	直角座標系	13	——双極子	101
接続点	209	直流モータ	221	——抵抗	194
接地	94	171		——伝導率	194
節点	209	【て】		——2 重層	92, 99
線形性	6	抵抗		ピエゾ——効果	149
線素	22	カーボン――	196	——比感受率	126
――ベクトル	23	チップ	196	ピロ——効果	149
全微分	10	内部——	201	——変位	128
【そ】		非オーム—— ——率	324 194	電気力線 電子	60
双極子		定常	134	自由——	77
永久——	146	——応答	381	なだれ	95
磁気——	96, 256	——電流	191	分極	146
電気	96	定積分	10	———放出	78
――モーメント	98	ディラック	55	――ポテンシャル	348
相互		定理		誘導	287
――インダクタンス	303	ガウスの――	35	電磁界	
誘導	298	グリーンの――	44	――エネルギー	342
増分	7	ストークスの――	42	電磁質量	343
速度		ストラットンの――	44	電磁波	62, 336
ドリフト――	192	テスラ	219	伝送路	344
ソレノイドコイル	271	鉄損	295	電束	
損		デュ・フェ	1	——電流	319
うず電流——	295	デルク門券	29	密度	70, 128, 318
鉄	295	デルタ関数	55	電池	200
ヒステリシス――	295	電圧計 電位	221	点電荷 伝道	52
損失係数 ゾンマーフェルト	360 322	电位 ——差	82 84	伝導 超——	211
/ V \ / T/V	344	左 電荷	51	電動機	220
		· 映像——	176	電場	62
		·2C12C	110	-5°///	02

電波	4	[0]		——効果	294
電流	190	【の】		表皮の厚さ	361
うず――	295	ノイマン	288	ピロ電気効果	149
過渡——	191	の公式	304	131	
	221	ノルム	19	【ふ】	
準定常——	301	11+1		ファラデー	60, 287
定常——	191, 325	【は】		――の法則	289
電束——	319	場	11	フェーザ	383
変位——	317, 319	スカラ――	12	不確定性原理	2
——密度	192	ベクトル――	12	複素	
誘導——	288	媒介変数	22	——関数	184
電力	198	波数	337	——電圧	383
皮相——	384	――ベクトル	359	——電流	383
複素——	385	波長	336	——電力	385
ベクトル――	385	発散	33	——変数	183
みかけの――	384	発電機	296	――ポインティング	
無効——	385	波動		ベクトル	352
有効——	384	――インピーダンス		誘電率	358
電話機	297	波動方程式	332	ブラウン管	226
(と)		ベクトル――	332	静電偏向型——	226
		ハミルトン	12	電磁偏向型——	227
等角写像法	185	バルクハウンゼン効果	274	プランク定数	257
導関数	8	汎関数	186	フランクリン	1
同次方程式	45	反磁性体	255	フレミングの左手の法則	219
透磁率	263	反射の法則	361	分極	123
真空の――	215	半導体	78	——電荷 票子	123
銅損	199	万有引力	1	電子——	146
導体	78, 121	【ひ】		配向—— ——率	146
完全—— 半——	78 70		1.40	——挙 ——ベクトル	126
等電位面	78	ピエゾ電気効果 ビオ	149		123
等电 <u>区</u> 国 導電率	87	E ・サバールの法則	229	分子 極性——	146
特異解	194 46		230 324	極 注─── 電界	140 123
特解	46	光起電力効果	200	非極性——	146
特殊解	46	非極性分子	146	ナイ <u> </u>	140
特性方程式	48	比磁化率	262	[^]	
トムソン	177	ヒステリシス	202	閉回路	209
ドリフト速度	192	曲線	276	閉曲面	25
		——損		平均自由時間	191
【な】		非斉次方程式	45	平面波	334
内積	18	皮相電力	384	ベクトル	12
内部抵抗	201	非同次方程式	45	位置——	14
ナブラ (▽)	29	比透磁率	263	——関数	13
• •		微分	7	基底——	14
【に】		——可能	8	磁界——	220
2 階微分方程式	47	係数	8	磁場——	220
7401		全——	10	——積	18
【ね】		偏——	9	線素——	23
熱電対	211	比誘電率	121	単位——	14
熱伝導方程式	371	表皮		——電力	385
		厚さ	373	場	12

波数——	359	コロナ――	96		
——波動方程式	332	飽和磁化	275	[/Þ]	
ポインティング――	342	ボーア		唯一性	177
――ポテンシャル	235	——磁子	257	有効電力	384
面素——	26	――の量子条件	257	誘電正接	360
ベッセル関数	163	ホール		誘電損	375
ペルティエ効果	212	——移動度	229	誘電体	121
ヘルツ	317, 321	係数	228	強——	150
変圧器	298, 308	——効果	228	——損	375
変位電流	317, 319	——電界	228	誘電率	121
変数分離法	160, 161	補助方程式	129	真空の——, ϵ_0	58
偏微分	9	保磁力	275	複素——	358
係数	9	保存則		誘導	
変分法	187	エネルギー――	342	——加熱	295
ヘンリー	216	定常電流の――	194, 325	——起電力	288
【ほ】		電荷——	6	磁化	279
		保存場	86	自己——	298
ポアソンの	0 155 155	ポテンシャル	00	静電——	79
方程式 44, 15: ポインティングベクトル		スカラ—— 静電——	89	相互—— ——電圧	298
被素	V = 342 352	遅延——	89 355	——电压 ——電界	288 291
方向余弦	352 14	電磁——	348	——电尔 ——電流	288
放射界	365	ポポフ	317	誘導界	365
放出	505	ボルタ	5		300
電子——	78	の電池	5, 200	【よ】	
法則	.0	ボルツマン	322	横波	334
アンペアの――	245		322		
アンペアの―― アンペア・	245	(\$)	922	[6]	
	319				
アンペア・		【ま】 マイスナー効果 マクスウェル	211, 278 58, 318	【ら】 ラーマー ——角周波数	225
アンペア・ マクスウェルの オームの―― ガウスの―― 81	319 194, 267 1, 243, 319	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・——の法!	211, 278 58, 318	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径	225 225
アンペア・ マクスウェルの オームの―― ガウスの―― 8〕 キュリーの――	319 194, 267 1, 243, 319 147, 273	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法! ――の応力	211, 278 58, 318 319 60	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン	225 225 42
アンペア・ マクスウェルの オームの―― ガウスの―― 8i キュリーの―― キュリー・ワイスの―	319 194, 267 1, 243, 319 147, 273 — 277	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法! ――の応力 ――の方程式	211, 278 58, 318 319 60 317, 322	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス	225 225 42 42
アンペア・ マクスウェルのオームの―― 8i ガウスの―― 8i キュリーの―― キュリー・ワイスの― キルヒホッフの――	319 194, 267 1, 243, 319 147, 273 — 277 269	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法! ――の応力	211, 278 58, 318 319 60	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス ——演算子	225 225 42 42 42, 153
アンペア・ マクスウェルのオームの―― ガウスの―― 8i キュリーの―― キュリー・ワイスの― キルヒホッフの―― クーロンの――	319 194, 267 1, 243, 319 147, 273 — 277 269 57, 80	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ	211, 278 58, 318 319 60 317, 322	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス ——演算子 ——の方程式	225 225 42 42 42, 153 153, 154
アンペア・ マクスウェルの オームの―― ガウスの―― 8i キュリーの―― キュリー・ワイスの― キルヒホッフの―― クーロンの―― 屈折の――	319 194, 267 1, 243, 319 147, 273 269 57, 80 135	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法! ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】	211, 278 58, 318 319 60 317, 322 317	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス ——演算子	225 225 42 42 42, 153
アンペア・ マクスウェルの オームの―― 81 オウスの―― 81 キュリーの―― キュリー・ワイスの― キルヒホッフの―― クーロンの―― 屈折の―― ジュールの――	319 194, 267 1, 243, 319 147, 273 269 57, 80 135 198	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ	211, 278 58, 318 319 60 317, 322	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス ——演算子 ——の方程式	225 225 42 42 42, 153 153, 154
アンペア・ マクスウェルの オームの―― 81 ガウスの―― 81 キュリーの―― キュリー・ワイスの― キルヒホッフの―― クーロンの―― 屈折の―― ジュールの――	194, 267 1, 243, 319 147, 273 277 269 57, 80 135 198 6, 79, 299	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法! ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】	211, 278 58, 318 319 60 317, 322 317	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス ——演算子 ——の方程式 ランデのg係数 【り】	225 225 42 42 42, 153 153, 154 257
アンペア・ マクスウェルのオームの―― ガウスの―― 81 キュリーの―― キュリー・ワイスの― キルヒホッフの―― クーロンの―― 屈折の―― ジュールの―― て射の――	194, 267 1, 243, 319 147, 273 277 269 57, 80 135 198 6, 79, 299 361	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】 ミッチェル 【む】	211, 278 58, 318 11 319 60 317, 322 317	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス ——演算子 ——の方程式 ランデのg係数 【り】	225 225 42 42 42, 153 153, 154 257
アンペア・ マクスウェルのオームの―― ガウスの―― 81 キュリーの―― キュリー・ワイスの― キルヒホッフの―― クーロンの―― 屈折の―― ジュールの―― 電荷保存の―― 反射の―― ビオ・サバールの――	194, 267 1, 243, 319 147, 273 — 277 269 57, 80 135 198 6, 79, 299 361 — 230	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】 ミッチェル 【む】	211, 278 58, 318 319 60 317, 322 317	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス ——演算子 ——の方程式 ランデの g 係数 【り】 力率 立体角	225 225 42 42 42, 153 153, 154 257 385 5, 70
アンペア・ マクスウェルのオームの―― ガウスの―― 81 キュリーの―― キュリー・ワイスの― キルヒホッフの―― クーロンの―― 屈折の―― ジュールの―― 電荷保存の―― 反射の―― ビオ・サバールの―― ファラデーの――	5 — 319 194, 267 1, 243, 319 147, 273 — 277 269 57, 80 135 198 6, 79, 299 361 — 230 289	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】 ミッチェル 【む】	211, 278 58, 318 11 319 60 317, 322 317	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス ——演算子 ——の方程式 ランデの g 係数 【り】 力率 立体角 全——	225 225 42 42 42, 153 153, 154 257 385 5, 70 71
アンベア・ マクスウェルのオームの—— ガウスの—— 81 キュリーの—— キュリー・ワイスの— キルヒホッフの—— クーロンの—— 屈折の—— ぎュールの—— 電荷保存の—— 反射の—— ビオ・サバールの—— ファラデーの—— フレミングの左手の—	57, 80 135, 198 6, 79, 299 219	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】 ミッチェル 【む】 無効電力	211, 278 58, 318 319 60 317, 322 317 58	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス ——演算子 ——の方程式 ランデの g 係数 【り】 力率 立体角 全—— 量子電磁気学	225 225 42 42 42, 153 153, 154 257 385 5, 70 71 51
アンベア・ マクスウェルのオームの— ガウスの— キュリーの— キュリー・ワイスの— キルヒホッフの— クーロンの— 屈折の— ジュールの— 電荷保存の— レオ・サバールの— ファラデーの— フレミングの左手の— 右ねじの——	57, 80 135 198, 267 1, 243, 319 147, 273 269 57, 80 135 198 6, 79, 299 361 230 289 219 216	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】 ミッチェル 【む】 無効電力 【め】 メカトロニクス	211, 278 58, 318 60 317, 322 317 58	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス () () () () () () () () () () () () () (225 225 42 42 42, 153 153, 154 257 385 5, 70 71
アンベア・ マクスウェルのオームの—— ガウスの—— 81 キュリーの—— キュリー・ワイスの— キルヒホッフの—— クーロンの—— 屈折の—— ぎュールの—— 電荷保存の—— 反射の—— ビオ・サバールの—— ファラデーの—— フレミングの左手の—	57, 80 135, 198 6, 79, 299 219	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】 ミッチェル 【む】 無効電力	211, 278 58, 318 319 60 317, 322 317 58	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス ——演算子 ——の方程式 ランデの g 係数 【り】 力率 立体角 全—— 量子電磁気学	225 225 42 42 42, 153 153, 154 257 385 5, 70 71 51
アンベア・ マクスウェルのオームの— ガウスの— キュリーの— キュリー・ワイスの— キルヒホッフの— クーロンの— 屈折の— ジュールの— 電荷保存の— レオ・サバールの— ファラデーの— フレミングの左手の— 右ねじの— レンツの——	57, 80 135 198, 267 1, 243, 319 147, 273 269 57, 80 135 198 6, 79, 299 361 230 289 219 216	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】 ミッチェル 【む】 無効電力 【め】 メカトロニクス メムス (MEMS)	211, 278 58, 318 319 60 317, 322 317 58 385	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス () () () () () () () () () () () () () (225 225 42 42 42, 153 153, 154 257 385 5, 70 71 51
アンベア・ マクスウェルの オームの—— ガウスの—— 8i キュリーの—— キュリー・ワイスの— キルヒホッフの—— クーロンの—— 屈折の—— ジュールの—— 電荷保存の—— ビオ・サバールの—— ファラデーの—— フレミングの左手の— 右ねじの—— レンツの—— 方程式	50	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】 ミッチェル 【む】 無効電力 【め】 メカトロニクス メムス (MEMS) 面積積分	211, 278 58, 318 60 317, 322 317 58 385 142 142 142 32	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス ——演算子 ——の方程数 【り】 力率 立体角 全—— 量子電磁気学 履歴曲線 【る】	225 225 42 42 42, 153 153, 154 257 385 5, 70 71 51
アンペア・ マクスウェルのオームの―― ガウスの―― 81 キュリーの―― キュリー・ワイスの―― キルヒホッフの―― クーロンの―― 屈折の―― ジュールの―― で材の―― ビオ・サバールの―― ファラデーの―― フレミングの左手の― たねじの―― レンツの―― 方程式 熱伝導	5 — 319 194, 267 1, 243, 319 147, 273 — 277 269 57, 80 135 198 6, 79, 299 361 — 230 289 — 219 216 288 371 44, 154	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】 ミッチェル 【む】 無効電力 【め】 メカトロニクス メムス (MEMS) 面積積分 面電荷密度 面電流密度	211, 278 58, 318 319 60 317, 322 317 58 385 142 142 32 53	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス (の方程式) ランデの g 係数 【り】 力率 立体角 全一電磁気学 履歴曲線 【る】 ルジャンドル	225 225 42 42 42, 153 153, 154 257 385 5, 70 71 51 276
アンペア・ マクスウェルの オームの— ガウスの— キュリーの— キュリー・ワイスの— キルヒホッフの— クーロンの— 屈折の— ですっかの 電荷保存の 反射の— ビオ・サバールの— ファラデーの フレミングの左手の 右ねじの— レンツの カセンツの 方程式 熱伝導 ポアソンの—	5 — 319 194, 267 1, 243, 319 147, 273 269 57, 80 135 198 6, 79, 299 361 — 230 289 — 219 216 288 371 44, 154	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】 ミッチェル 【む】 無効電力 【め】 メカトロニクス メムス (MEMS) 面積積分 面電荷密度	211, 278 58, 318 319 60 317, 322 317 58 385 142 142 32 53	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス 演算方子 (あ) カンデの g 係数 【り】 力率 立体角 全一 量子電磁気学 履歴曲線 【る】 ルジャンドル ——関数 ——陪関数	225 225 42 42 42, 153 153, 154 257 385 5, 70 71 51 276
アンペア・ マクスウェルの オームの―― ガウスの―― 81 キュリーの―― キュリー・ワイスの― キルヒホッフの―― クーロンの―― 屈折の―― ですれての―― です・サバールの―― ファラデーの―― フレミングの左手の― たねじの―― レンツの―― 方程式 熱伝導 マクスウェルの――	5 — 319 194, 267 1, 243, 319 147, 273 — 277 269 57, 80 135 198 6, 79, 299 361 — 230 289 — 219 216 288 371 44, 154 317, 322	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の応力 ――の方程式 マルコーニ 【み】 ミッチェル 【む】 無効電力 【め】 メカトロニクス メムス (MEMS) 面積積分 面電荷密度 面電流密度	211, 278 58, 318 319 60 317, 322 317 58 385 142 142 32 53	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半アン ラプラス 漢の方程 ランデの g 係数 【り】 力率 立体 全子電線 【る】 ルジャンドル ——関数	225 225 42 42 42, 153 153, 154 257 385 5, 70 71 51 276
アンペア・ マクスウェルの オームの―― ガウスの―― 81 キュリーの―― キュリー・ワイスの― キルヒホッフの―― クーロンの―― 屈折の―― ですったの―― ですった。 ですった。 ですった。 ないののでです。 がでのでを手の一 ないのの。 たいツのの 方程式 熱伝でリンの―― マクスウェルの―― ラプラスの――	5 — 319 194, 267 1, 243, 319 147, 273 — 277 269 57, 80 135 198 6, 79, 299 361 — 230 289 — 219 216 288 371 44, 154 317, 322	【ま】 マイスナー効果 マクスウェル アンペア・――の法則 ――の方程式 マルコーニ 【み】 ミッチェル 【む】 無効電力 【め】 メカトロニクス メムス (MEMS) 面積積分 面電荷密度 面電流密度 【も】	211, 278 58, 318 60 317, 322 317 58 385 142 142 32 53 248	【ら】 ラーマー ——角周波数 ——半径 ラプラシアン ラプラス 演算方子 (あ) カンデの g 係数 【り】 力率 立体角 全一 量子電磁気学 履歴曲線 【る】 ルジャンドル ——関数 ——陪関数	225 225 42 42 42, 153 153, 154 257 385 5, 70 71 51 276

——の法則	288	ローレンツ	148	電界	148
【ろ】		――・クーロン力	222	一 一力	222, 291
191		――ゲージ	348	ロビソン	58
ローレンス–ローレンツの式	149	——条件	348		
		>		>	
[]		I CI		Coulomb	
[A]		(C)		——, C.A.	51
AB 効果	235	CAD	195	's law	58
active power	384	capacitor	110	cross product	18
actuator	142	carrier	192	CRT	226
aerial	345	Cartesian coordinate system	n 13	Curie temperature	276
Aharanov-Bohm effect	235	cathode-ray tube	226	current	
Ampére		Cavendish, H.	58	conduction —	191
, A.M.	$4,\ 217$	charge		displacement ——	319
——'s circuital law	245	apparent ——	125	eddy ——	295
ampere-turn	268	free ——	125	electric ——	190
angular momentum	36	image ——	176	—— density	192
antenna	345	magnetic ——	214	induced ——	288
dipole ——	365	polarization ——	123	induction ——	288
apparent		true ——	125	quasi-stationary ——	301
charge	125	circulation	37	sationary ——	191
— power	384	Clausius-Mossotti	149	transient ——	191
pproximation		closed surface	25	cyclotron	
quasi-static ——	374	coercive force	276	— angular frequenc	y 225
area element vector	26	complex permittivity	358	— motion	225
associated Legendre funct	ion 164	condensor	110	cylindrical coordinate sy	stem 15
ttenuation constant	360	condition			
/ \		Lorentz —	348	(D)	
(B)			5, 195	definite integral	10
oack electromotive force	202	conduction current	191	$\nabla(\mathrm{del})$	29
Barkhaunsen effect	274	conductivity		demagnetization	
parrier layer	188	electric —	194	self —	283
pasis vector	14	super—	211	density	200
pattery	200	1	3, 121	magnetic flux —	219
Bessel	163	perfect —	78	depletion layer	188
Biot	100	conformal mapping	185	derivative	8
	230	conservative field	86	diamagnetic material	255
——, J.	229	constant	00	diamagnetism	200
Bohr magneton	257	attenuation —	360	perfect —	278
Boltzman, L.	322	phase —	360	super—	278
ooundary	322	contact potential difference		dielectric	2,0
—— condition	133	contour integral	200	breakdown	96
— value problem	155 157	coordinate system	22	constant	90 121
oranch	209	Cartesian —	13	specific —	121
Braun	209	cylindrical —	15 15	specific ——————————————————————————————————	
raun —, K.F.	917	orthogonal——			375
——, K.F. —— tube	317	orthogonal——	18	dielectrics	121
— tupe	226	rectangular ——	13	differentiable	8
		om homina l			
oreakdown dielectric ——	96	spherical ————————————————————————————————————	17 199	differential —— coefficient	7 8

partial ——	9	resistance	194	induced	
— coefficient		— susceptibility	126	electromagnetic —	-288
total —	10	electromagnetic	120	Lorentz —	222
diffusion potential	188	— induction	287	magnetomotive ——	267
dipole		wave	336	self ——	81
— antenna	365	electromotive force	201	free space	332
electric ——	96	back ——	202	fringe effect	158
—— moment	98	electron		function	
magnetic ——	256	—— avalanche	95	associated Legendre —	164
Dirac, P.A.M.	55	free ——	77	Bessel ——	163
directional cosine	14	electronic		Green's ——	356
displacement		polarization	146	Legendre ——	164
current	319	electrostatic		functional	186
electric ——	128, 319	—— field	62		
distribution	56	—— induction	79	(G)	
dot product	18	—— potential	82	gaseous discharge	96
drift velocity	192	shield	93	gauge transformation	239
[77]		element		gauss	219
(\mathbf{E})		area — vector	26	Gauss' theorem	35
earth	94	line ——	22	general solution	46
eddy current	295	vector	23	Gilbert, W	1
effect		equation		Grassmann H.	18
Aharanov-Bohm ——	235	heat transfer ——	371	Green	
Barkhaunsen ——	274	Laplace's ——	153	——'s function	356
fringe ——	158	Maxwell's ——	317	——'s theorem	44
Hall ——	228	Poisson's ——	44	gyromagnetic ratio	257
Meissner ——	211, 278	ether	62	[11]	
Meissner —— Peltier ——	211, 278 212	ether expansion	62	[H]	
Peltier —— photovoltaic ——	,		62 101	Hall	
Peltier —— photovoltaic —— piezo electric ——	212	expansion multipole ——		Hall —— effect	228
Peltier —— photovoltaic —— piezo electric —— pyro electric ——	212 200 149 149	expansion		Hall —— effect —— mobility	229
Peltier —— photovoltaic —— piezo electric —— pyro electric —— Seebeck ——	212 200 149 149 211	expansion multipole —— [F] factor	101	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R.	229 12
Peltier —— photovoltaic —— piezo electric —— pyro electric —— Seebeck —— skin ——	212 200 149 149 211 294	expansion multipole —— [F] factor power ——		Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation	229 12 371
Peltier —— photovoltaic —— piezo electric —— pyro electric —— Seebeck —— skin —— effective power	212 200 149 149 211 294 384	expansion multipole —— [F] factor power —— Faraday	101 385	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J.	229 12 371 216
Peltier —— photovoltaic —— piezo electric —— pyro electric —— Seebeck —— skin —— effective power Einstein, A.	212 200 149 149 211 294 384 62	expansion multipole —— [F] factor power —— Faraday ——'s law	101 385 289	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. 317	229 12 371
Peltier —— photovoltaic —— piezo electric —— pyro electric —— Seebeck —— skin —— effective power Einstein, A. electlet	212 200 149 149 211 294 384	expansion multipole —— [F] factor power —— Faraday ——'s law ——, M.	385 289 60, 287	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. high temperature	229 12 371 216 7, 321
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric	212 200 149 149 211 294 384 62 149	expansion multipole — [F] factor power — Faraday ——'s law ——, M. ferroelectric	385 289 60, 287 150	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. high temperature superconductor	229 12 371 216 7, 321
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity	212 200 149 149 211 294 384 62 149	expansion multipole —— [F] factor power —— Faraday ——'s law ——, M. ferroelectric ferromagnetic	385 289 60, 287 150 150	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. high temperature	229 12 371 216 7, 321
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity — current	212 200 149 149 211 294 384 62 149	expansion multipole — [F] factor power — Faraday ——'s law ——, M. ferroelectric ferromagnetic —— material	385 289 60, 287 150 150 255	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. 317 high temperature superconductor hysterisis	229 12 371 216 7, 321
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity — current — density	212 200 149 149 211 294 384 62 149 194 190 192	expansion multipole — [F] factor power — Faraday ——'s law ——, M. ferroelectric ferromagnetic —— material field	385 289 60, 287 150 255 11	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. high temperature superconductor hysterisis [I]	229 12 371 216 7, 321 211 276
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity — current — density — dipole	212 200 149 149 211 294 384 62 149 194 190 192 96	expansion multipole — [F] factor power — Faraday ——'s law ——, M. ferroelectric ferromagnetic —— material field conservative ——	385 289 60, 287 150 150 255 11 86	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. 31% high temperature superconductor hysterisis 【1】 IH 調理器	229 12 371 216 7, 321
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity — current — density — dipole — moment	212 200 149 149 211 294 384 62 149 194 190 192 96 98	expansion multipole — [F] factor power — Faraday ——'s law ——, M. ferroelectric ferromagnetic —— material field conservative — electrostatic —	385 289 60, 287 150 255 11 86 62	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. 317 high temperature superconductor hysterisis 【I】 IH 調理器 image	229 12 371 216 7, 321 211 276
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity — current — density — dipole — moment — displacement	212 200 149 149 211 294 384 62 149 194 190 192 96 98 128, 319	expansion multipole — [F] factor power — Faraday ——'s law ——, M. ferroelectric ferromagnetic —— material field conservative — electrostatic induction —	385 289 60, 287 150 150 255 11 86 62 365	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. 312 high temperature superconductor hysterisis 【I】 IH 調理器 image —— chage	229 12 371 216 7, 321 211 276 295
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity — current — density — dipole — moment — displacement — double layer	212 200 149 149 211 294 384 62 149 194 190 192 96 98 128, 319 99	expansion multipole —— [F] factor power —— Faraday ——'s law ——, M. ferroelectric ferromagnetic —— material field conservative —— electrostatic —— induction —— magnetic ——	385 289 60, 287 150 255 11 86 62 365 215, 220	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. 31% high temperature superconductor hysterisis 【I】 IH 調理器 image —— chage ——method	229 12 371 216 7, 321 211 276
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity — current — density — dipole — moment — displacement — double layer ferro—	212 200 149 149 211 294 384 62 149 194 190 192 96 98 128, 319 99	expansion multipole — [F] factor power — Faraday — 's law — , M. ferroelectric ferromagnetic — material field conservative — electrostatic — induction — magnetic — magnetostatic — magnetostatic —	385 289 60, 287 150 255 11 86 62 365 215, 220 215	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. 317 high temperature superconductor hysterisis 【I】 IH 調理器 image —— chage ——method impedance	229 12 371 216 7, 321 211 276 295 176 176
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity — current — density — dipole — moment — displacement — double layer ferro — flux density	212 200 149 149 211 294 384 62 149 194 190 192 96 98 128, 319 99 150 70, 128	expansion multipole — [F] factor power — Faraday —'s law —, M. ferroelectric ferromagnetic — material field conservative — electrostatic — induction — magnetic — magnetostatic — quasi-static —	385 289 60, 287 150 255 11 86 62 365 215, 220 215 365	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. 317 high temperature superconductor hysterisis 【I】 IH 調理器 image —— chage ——method impedance intrinsic ——	229 12 371 216 7, 321 211 276 295 176 176 335
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity — current — density — dipole — moment — displacement — double layer ferro — flux density — lines of force	212 200 149 149 211 294 384 62 149 194 190 192 96 98 128, 319 99 150 70, 128 60	expansion multipole — [F] factor power — Faraday — 's law — , M. ferroelectric ferromagnetic — material field conservative — electrostatic — induction — magnetic — magnetostatic — magnetostatic —	385 289 60, 287 150 255 11 86 62 365 215, 220 215	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. 317 high temperature superconductor hysterisis 【I】 IH 調理器 image —— chage ——method impedance	229 12 371 216 7, 321 211 276 295 176 176 335 335
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity — current — density — dipole — moment — displacement — double layer ferro — flux density	212 200 149 149 211 294 384 62 149 194 190 192 96 98 128, 319 99 150 70, 128	expansion multipole — (F) factor power — Faraday — 's law — , M. ferroelectric ferromagnetic — material field conservative electrostatic — induction magnetic — magnetostatic — quasi-static — radiation —	385 289 60, 287 150 255 11 86 62 365 215, 220 215 365 365	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. 317 high temperature superconductor hysterisis 【I】 IH 調理器 image —— chage ——method impedance intrinsic —— wave ——	229 12 371 216 7, 321 211 276 295 176 176 335
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity — current — density — dipole — moment — displacement — double layer ferro — flux density — lines of force — monopole	212 200 149 149 211 294 384 62 149 194 190 192 96 98 128, 319 99 150 70, 128 60 96	expansion multipole — [F] factor power — Faraday — 's law — , M. ferroelectric ferromagnetic — material field conservative — electrostatic — induction — magnetic — magnetostatic — quasi-static — radiation — force	385 289 60, 287 150 255 11 86 62 365 215, 220 215 365 365	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. 317 high temperature superconductor hysterisis 【I】 IH 調理器 image —— chage ——method impedance intrinsic —— wave —— increment	229 12 371 216 7, 321 211 276 295 176 176 335 335
Peltier — photovoltaic — piezo electric — pyro electric — Seebeck — skin — effective power Einstein, A. electlet electric — conductivity — current — density — dipole — moment — displacement — double layer ferro — flux density — lines of force — monopole — motor	212 200 149 149 211 294 384 62 149 194 190 192 96 98 128, 319 99 150 70, 128 60 96 220	expansion multipole — [F] factor power — Faraday —'s law —, M. ferroelectric ferromagnetic — material field conservative — electrostatic — induction — magnetic — magnetic — radiation — force back electromotive —	385 289 60, 287 150 255 11 86 62 365 215, 220 215 365 365	Hall —— effect —— mobility Hamilton W.R. heat transfer equation Henry, J. Hertz, H.R. 317 high temperature superconductor hysterisis 【I】 IH 調理器 image —— chage ——method impedance intrinsic —— wave —— increment induced	229 12 371 216 7, 321 211 276 295 176 176 335 335 7 288

	279	Lentz, H.	288	magnetism	
—— magnetization —— voltage	288	light speed	336	residual ——	275
inductance	200	line	550	magnetization	254, 258
mutual ——	303	—— element	22	induced —	279
self ——	302	vector	23	permanent —	279
induction	302	— integral	22	residual ——	275
electrostatic ——	79	transmission —	344	satulation —	275
— field	365	linearity	6	spontaneous ——	274
—— heating	295	lines	U	magnetomotance	267
mutual —	298	— of electric force	60	magnetomotive force	267
self —	298	— of magnetic force	214	magnetostatic field	215
inner product	18	londitudinal wave	334	mapping	185
-	121		209	conformal ——	185 185
insulating medium insulator		loop Lorentz	209 148		317
	78, 121	—— condition		Marconi, G.	317
integral	22	— force	348 222	material	254
contour —				magnetic ——	254
definite —— line ——	10	Lorenz-Lorentz	149	Maxwell	917
	22	loss	100	's equation	317
volume ——	28	copper —— —— dielectric	199	—, J.C.	58, 318
internal resistance	201		375	mechatronics	142
intrinsic impedance	335	—— tangent	360	Meissner effect	211, 278
(J)		(\mathbf{M})		MEMS	142
Tanda			9	mesh	209
Joule —— heat	100	magnet	3	metal	77
	198	permanent ——	255	method .	170
· s law	198	magnetic	01.4	image —	176
junction	209	—— charge dia—— material	214	variational —	187
(K)		—— dipole	255	— of virtual work	115
Kelvin	177	*	256	Michell, J.	58
		—— domain	274	mobility	192
	177		150		
Kirchhoff, G.	209	ferro	150	moment	0.0
		ferro—— material	255	electric dipole ——	98
Kirchhoff, G.	209	ferro—— ferro—— material —— field 215	255 , 220	electric dipole —— momentum	
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor		ferro—— material —— field 215 —— flux	255 , 220 220	electric dipole —— momentum angular ——	98 36
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace	209 257	ferro—— material ——— field 215 ————————————————————————————————————	255 , 220 220 219	electric dipole —— momentum angular —— monopole	36
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation	209 257 153	ferro—— ferro—— material ——— field 215 ————————————————————————————————————	255 , 220 220 219 269	electric dipole —— momentum angular —— monopole electric ——	36 96
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation —, P.S.	209 257 153 42	ferro—— ferro—— material —— field 215 —— flux —— density leakage —— lines of ——	255 , 220 220 219	electric dipole —— momentum angular —— monopole electric —— magnetic ——	36 96 322
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation ——, P.S. Laplacian operator	209 257 153 42 42	ferro—— ferro—— material —— field 215 —— flux —— density leakage —— lines of —— —— hysterisis	255 , 220 220 219 269 243	electric dipole —— momentum angular —— monopole electric —— magnetic —— motor	36 96 322 220
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation ——, P.S. Laplacian operator Larmor radius	209 257 153 42	ferro—— ferro—— material —— field 215 —— flux —— density leakage —— lines of —— —— hysterisis phenomena	255 , 220 220 219 269 243	electric dipole —— momentum angular —— monopole electric —— magnetic —— motor MRI	36 96 322 220 278
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation —, P.S. Laplacian operator Larmor radius law	209 257 153 42 42 225	ferro—— ferro—— material —— field 215 —— flux —— density leakage —— lines of —— —— hysterisis phenomena —— lines of force	255 , 220 220 219 269 243 276 214	electric dipole —— momentum angular —— monopole electric —— magnetic —— motor MRI multipole expansion	36 96 322 220 278 101
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation —, P.S. Laplacian operator Larmor radius law Biot-Savert's —	209 257 153 42 42	ferro—— ferro—— material —— field 215 —— flux —— density leakage —— lines of —— —— hysterisis phenomena —— lines of force —— material	255 , 220 220 219 269 243 276 214 254	electric dipole —— momentum angular —— monopole electric —— magnetic —— motor MRI	36 96 322 220 278
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation —, P.S. Laplacian operator Larmor radius law Biot-Savert's — conservation — of	209 257 153 42 42 225 230	ferro—— ferro—— material —— field 215 —— flux —— density leakage —— lines of —— —— hysterisis phenomena —— lines of force —— material —— monopole	255 , 220 220 219 269 243 276 214 254 322	electric dipole —— momentum angular —— monopole electric —— magnetic —— motor MRI multipole expansion	36 96 322 220 278 101
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation ——, P.S. Laplacian operator Larmor radius law Biot-Savert's —— conservation —— of electric charge	209 257 153 42 42 225 230 6, 79	ferro— ferro— material —— field 215 —— flux —— density leakage —— lines of —— —— hysterisis phenomena —— lines of force —— material —— monopole para—— material	255 , 220 220 219 269 243 276 214 254 322 255	electric dipole — momentum angular — monopole electric — magnetic — motor MRI multipole expansion mutual inductance	36 96 322 220 278 101 303
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation ——, P.S. Laplacian operator Larmor radius law Biot-Savert's —— conservation —— of electric charge Coulomb's ——	209 257 153 42 42 225 230 6, 79 58	ferro— ferro— material — field 215 — flux — density leakage — lines of — — hysterisis phenomena — lines of force — material — monopole para— material — permeability	255 , 220 220 219 269 243 276 214 254 322 255 263	electric dipole — momentum angular — monopole electric — magnetic — motor MRI multipole expansion mutual inductance $\[\[\] \] \] \] \] \[\] \] \] \] \] \] \] \] \] \] \] \] \] $	36 96 322 220 278 101 303
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation —, P.S. Laplacian operator Larmor radius law Biot-Savert's — conservation — of electric charge Coulomb's — Faraday's —	209 257 153 42 42 225 230 6, 79 58 289	ferro— ferro— material — field 215 — flux — density leakage — lines of — — hysterisis phenomena — lines of force — material — monopole para— material — permeability — pole	255 , 220 220 219 269 243 276 214 254 322 255 263 214	electric dipole — momentum angular — monopole electric — magnetic — motor MRI multipole expansion mutual inductance $\begin{bmatrix} \mathbf{N} \end{bmatrix}$ ∇ (nabla) Neumann, F.	36 96 322 220 278 101 303
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation —, P.S. Laplacian operator Larmor radius law Biot-Savert's — conservation — of electric charge Coulomb's — Faraday's — Joule's —	209 257 153 42 42 225 230 6, 79 58 289 198	ferro—— ferro—— material —— field 215 —— flux —— density leakage —— lines of —— —— hysterisis phenomena —— lines of force —— material —— monopole para—— material —— permeability —— pole —— potential	255 , 220 220 219 269 243 276 214 254 322 255 263	electric dipole — momentum angular — monopole electric — magnetic — motor MRI multipole expansion mutual inductance $\begin{tabular}{ l l l l l l l l l l l l l l l l l l l$	36 96 322 220 278 101 303 29 288 209
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation —, P.S. Laplacian operator Larmor radius law Biot-Savert's — conservation — of electric charge Coulomb's — Faraday's — Joule's — Ohm's —	209 257 153 42 42 225 230 6, 79 58 289 198 194	ferro— ferro— material — field 215 — flux — density leakage — lines of — — hysterisis phenomena — lines of force — material — monopole para— material — permeability — pole — potential relative —	255 , 220 220 219 269 243 276 214 254 322 255 263 214 265	electric dipole — momentum angular — monopole electric — magnetic — motor MRI multipole expansion mutual inductance $\begin{bmatrix} \mathbf{N} \end{bmatrix}$ ∇ (nabla) Neumann, F. node norm	36 96 322 220 278 101 303
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation —, P.S. Laplacian operator Larmor radius law Biot-Savert's — conservation — of electric charge Coulomb's — Faraday's — Joule's — Ohm's — Snell's —	209 257 153 42 42 225 230 6, 79 58 289 198 194 361	ferro—— material —— field 215 —— flux —— density leakage —— lines of —— —— hysterisis phenomena —— lines of force —— material —— monopole para—— material —— permeability —— pole —— potential relative —— —— permeability	255 , 220 219 269 243 276 214 254 322 255 263 214 265	electric dipole — momentum angular — monopole electric — magnetic — motor MRI multipole expansion mutual inductance $\begin{bmatrix} \mathbf{N} \end{bmatrix}$ ∇ (nabla) Neumann, F. node norm nuclear	36 96 322 220 278 101 303 29 288 209 19
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation —, P.S. Laplacian operator Larmor radius law Biot-Savert's — conservation — of electric charge Coulomb's — Faraday's — Joule's — Ohm's — Snell's — leakage magnetic flux	209 257 153 42 42 225 230 6, 79 58 289 198 194 361 269	ferro— ferro— material — field 215 — flux — density leakage — lines of — — hysterisis phenomena — lines of force — material — monopole para— material — permeability — pole — potential relative — — permeability — susceptibility	255 , 220 219 269 243 276 214 254 322 255 263 214 265	electric dipole — momentum angular — monopole electric — magnetic — motor MRI multipole expansion mutual inductance $\begin{bmatrix} \mathbf{N} \end{bmatrix}$ ∇ (nabla) Neumann, F. node norm nuclear — fission	36 96 322 220 278 101 303 29 288 209 19
Kirchhoff, G. [L] Landè g-factor Laplace equation —, P.S. Laplacian operator Larmor radius law Biot-Savert's — conservation — of electric charge Coulomb's — Faraday's — Joule's — Ohm's — Snell's —	209 257 153 42 42 225 230 6, 79 58 289 198 194 361	ferro—— material —— field 215 —— flux —— density leakage —— lines of —— —— hysterisis phenomena —— lines of force —— material —— monopole para—— material —— permeability —— pole —— potential relative —— —— permeability	255 , 220 219 269 243 276 214 254 322 255 263 214 265	electric dipole — momentum angular — monopole electric — magnetic — motor MRI multipole expansion mutual inductance $\begin{bmatrix} \mathbf{N} \end{bmatrix}$ ∇ (nabla) Neumann, F. node norm nuclear	36 96 322 220 278 101 303 29 288 209 19

Constedt, H						
Consted, H	101		effective ——	384	Robison, J.	58
Cersted, H 214 — factor 385 Sativation magnetization 275 —, G.S. 194 Poynting Savart —'s law 194 —, J. 342 Biot.—'s law 230 Ohmic los 275 principle scalar 12 Open surface 25 superposition 6 cproduct 18 orthogonal coordinate system 18 superposition 6 cebecked effect 211 paramagnetic material 255 ross 18 separation of variables 161 paramagnetic material 255 nouter 18 separation of variables 161 paramagnetic material 255 nouter 18 separation of variables 161 paramagnetic material 255 pounter 18 separation of variables 161 paramagnetic material 255 pounter 18 separation of variables 161 permedidifferential 9 port electric effect 149 —unit 140	[O]		electric ——	198	,	
一字	Oersted, H	214		385		
Silaw	Ohm		reactive ——	385	satulation magnetization	275
Ohmic loss 198 — vector 342 —, F. 229 Onnes, H. K. 278 principle scalar 12 open surface 25 orthogonal coordinate system 18 superposition — 6 — product 18 outer product 18 superposition — 6 Seebeck effect 211 parameter 255 town 18 semiconductor 78 parameter 225 town 18 semiconductor 78 parameter 225 town 18 superation of variables 161 Parameter 229 vector 18 — #fc 4 PEC 346 [Q] IQ — #fc — #fc — #fc 24 — unit 4 Perfect diamagnetism 278 perfect diamagnetism 278 persectid diamagnetism 278 selectic 294 permeability 215 26 — approximation 374 peritular 46 peritular 46	——, G.S.	194	Poynting		Savart	
Onnes, H. K. 278 principle superposition 6 cuperposition 6 cuperposition 2 cuperposition 6 cuperposition 5 cuperposition 6 cuperposition 2 cuperposition 2 cuperposition 6 cuperposition 6 cuperposition 6 cuperposition 6 cuperposition 2 cuperposition<	's law	194	, J.	342	Biot- —-'s law	230
open surface orthogonal coordinate system 18 touter product 25 touter 18 touter 18 touter product 255 touter 18 touter 18 touter 19 touter product 255 touter 18 touter 18 touter 19 touter 255 touter 18 touter 18 touter 19 touter 255 touter 18 touter 18 touter 19 to	Ohmic loss	198	vector	342	, F.	229
Outhogonal coordinate system 18 outer product 18 Product 5 Product 5 Product 5 Product 5 Product 5 Product 5 Product 6 Product 6 Product 6 Product 6 Product 7	Onnes, H. K.	278	principle		scalar	12
Paramagnetic material 255 cross 18	open surface	25	superposition ——	6	product	18
Paramagnetic material 255 niner	orthogonal coordinate s	system 18	uncertainty ——	2	Seebeck effect	211
Paramagnetic material 255 inner 18 SI SI Inner Interest Inner	outer product	18	product		self inductance	302
Cot 18 Separation of variables 101	[D]		cross ——	18	semiconductor	78
parameter 22 partial differential 29 vector — 18 vector — ### ☐	71.1		dot	18	separation of variables	161
Partial differential	paramagnetic material	255		18	SI	
— coefficient	parameter			18	• •	4
PEC 346	partial differential	9	vector —	18	unit	4
PEC 346 IQI Peltier effect 212 quark 2 — effect 294 perfect diamagnetism 278 quark 2 — effect 294 permed 337 — approximation 374 solution solution permeanet 267 — field 365 particular— 46 permeance 267 — stationary current 301 singular 46 permittivity 58, 121 radian 5, 70 Sommerfeld, A 322 phase constant 360 radiation field 365 speed of light 38 phesor 383 reactive power 385 spherical — coordinate system 17 plane wave 334 — permeability 263 spherical — wave 340 Poisson's equation 44, 153 — permeability 263 static — wave 320 poincization 123 relaction time 191, 300 stationary current 191		9	pyro electric effect	149	singular solution	46
Peltier effect 212 quark 2 quark 2 quark 361 365 quasi 276 quark 277 quark 278 quark 278 quark 278 quark 278 quark 279 quark 279 quark 279 quark 279 quark 279 quark 279 quark 270 qua			[0]			
Perfect diamagnetism 278 quasi — -static — -	-		- •-			*
Deriod 337			<u> </u>	2		
Permanent magnetization 279	-		*			361
permeability 215, 263 — field 365 particular— 46 permeance 267 — stationary current 301 singular — 46 permittivity 58, 121 [R] Sommerfeld, A space charge layer space space charge layer space charge layer space charge layer space space charge layer space space charge layer space charge layer space of light space space charge layer space space charge layer space space charge layer space space of light space charge layer space spac	1					
permeance 267 —stationary current 301 singular — 46 permittivity 58, 121 [R] Singular — 46 permittivity 58, 121 [R] Sommerfeld, A 322 pomples 358 radian 5, 70 space charge layer 188 phase constant 360 radiation field 365 spherical 36 photovoltaic effect 200 rectangular coordinate system 13 385 spherical — coordinate system 13 — wave 340 phase constant 360 rectangular coordinate system 13 — wave 340 — magnetic — coordinate system 13 — wave 340 — magnetic SQUID 274 SQUID 278 SQUID 278 SQUID 278 Static — magnetization 274 SQUID 278 Static — magnetization 275 SQUID 278 Static 46 279 Static — magnetization 275 Stratton's theorem 42 24 24 24					O	
permittivity 58, 121 complex — 358 relative — 121 radian 5, 70 speed of light 336 spherical phase constant 360 phase constant 360 radiation field 365 spherical 360 spherical phesor 383 reactive power 385 spherical — coordinate system 17 may sepherical photovoltaic effect 200 piezo electric effect 149 prelative — coordinate system 17 may sepherical plane wave 334 phase may sepherical — coordinate system 17 may sepherical PMC 346 phase may sepherical — coordinate system 17 may sepherical PMC 346 phase may sepherical — coordinate system 17 may sepherical PMC 346 phase may sepherical — coordinate system 17 may sepherical PMC 346 phase may sepherical — coordinate system 17 may sepherical PMC 346 phase may sepherical — coordinate system 17 may sepherical PMC 346 phase may sepherical — coordinate system 17 may sepherical PMC 344 phase may sepherical — sepherical — coordinate system 17 may sepherical		,			-	
Complex — 358 IRI space charge layer 188 relative — 121 radian 5, 70 speed of light 336 phase constant 360 radiation field 365 spherical phesor 383 reactive power 385 — coordinate system 17 photovoltaic effect 200 rectangular coordinate system 13 — wave 340 piezo electric effect 149 relative spontaneous magnetization 274 PMC 346 — permeability 263 static Poisson's equation 44, 153 — susceptibility 262 quasi—field 365 polarization 123 relaxation time 191, 300 stationary current 191 — charge 123 reluctance 267 steady-state response 381 electronic 146 — magnetism 275 stratton's theorem 42 Popov, A.S. 317 — magnetism 275 superconductivity 211	•			301		
relative — 121 radian 5, 70 speed of light 336 phase constant 360 radiation field 365 phesor 383 reactive power 385 — coordinate system 17 photovoltaic effect 200 rectangular coordinate system 18 spontaneous magnetization 274 plane wave 334 — magnetic SQUID 278 posson's equation 44, 153 — susceptibility 262 quasi— field 365 polarization 123 relaxation time 191, 300 stationary current 191 — charge 123 reluctance 267 electronic — 146 residual 50 — magnetic flux density 275 posson's electric — 149 resistance 149 resistance 150 magnetic — 265 resistivity 194 closed — 25 retarded — 355 response 150 magnetic — 255 power 150 magneti — 238 retarded potential 150 magneti — 255 power 150 magneti — 384 retarded potential 150 magneti — 384 retarded potential 150 magneti — 385 retarded potential 150 magneti — 386 retarded potential 150 magneti — 387 susceptibility 248 susceptibility 248 popen — 255 power 150 magneti — 387 retarded potential 355 electric — 1516 potential 365 retarded potential 365 power 150 magneti — 381 susceptibility 262 power 150 magneti — 381 retarded potential 365 power 150 magneti — 381 popen — 255 power 150 magneti — 384 retarded potential 355 electric — 1526 power 150 magneti — 384 retarded potential 365 power 150 magneti — 385 power 150 power 1	- *	,	(R)		,	_
phase constant 360 radiation field 365 spherical phesor 383 reactive power 385 — coordinate system 17 photovoltaic effect 200 rectangular coordinate system 13 — wave 340 piezo electric effect 149 relative spontaneous magnetization 274 plane wave 334 — magnetic SQUID 278 PMC 346 — permeability 263 static Poisson's equation 44, 153 — susceptibility 262 quasi- — field 365 polarization 123 relaxation time 191, 300 stationary current 191 — charge 123 residual Stokes' theorem 42 orientation 146 — magnetic flux density 275 Stratton's theorem 44 Popov, A.S. 317 — magnetization 275 superconductivity 211 position vector 14 electric — 194 superposition principle 6 electric —	•			0		
Phesor 383 reactive power 385 — coordinate system 17					-	336
photovoltaic effect 200 rectangular coordinate system 13 — wave 340 piezo electric effect 149 relative spontaneous magnetization 274 plane wave 334 — magnetic SQUID 278 PMC 346 — permeability 263 static Poisson's equation 44, 153 — susceptibility 262 quasi-— field 365 polarization 123 relaxation time 191, 300 stationary current 191 — charge 123 reluctance 267 steady-state response 381 electronic 146 residual Stokes' theorem 42 orientation 146 — magnetism 275 Stratton's theorem 44 Popov, A.S. 317 — magnetization 275 superconductivity 211 position vector 14 resistance high temperature 211 diffusion 188 electric 194 superposition principle 6 electric	•				*	177
piezo electric effect 149 relative spontaneous magnetization 274 plane wave 334 — magnetic SQUID 278 PMC 346 — permeability 263 static Poisson's equation 44, 153 — susceptibility 262 quasi—field 365 polarization 123 relaxation time 191, 300 stationary current 191 — charge 123 reluctance 267 steady-state response 381 electronic — 146 residual Stokes' theorem 42 orientation — 146 — magnetism 275 Stratton's theorem 42 Popov, A.S. 317 — magnetism 275 superconductivity 211 position vector 14 magnetizeric — 194 superconductor 278 electric — 82 internal — 201 superconductor 278 electric — 82 internal — 201 superconductor 278 electric — <td>•</td> <td></td> <td>•</td> <td></td> <td></td> <td></td>	•		•			
plane wave 334 — magnetic SQUID 278 PMC 346 — permeability 263 static Poisson's equation 44, 153 — susceptibility 262 quasi-— field 365 polarization 123 relaxation time 191, 300 stationary current 191 — charge 123 reluctance 267 steady-state response 381 electronic 146 — magnetic flux density 275 Stratton's theorem 42 orientation 146 — magnetism 275 superconductivity 211 position vector 14 — magnetization 275 superconductor 278 potential resistance high temperature 211 diffusion 188 electric 194 superposition principle 6 electric 82 internal 201 superposition principle 6 electrostatic 82 resistivity 194 closed — current density 248 <td< td=""><td>•</td><td></td><td></td><td>tem 13</td><td></td><td></td></td<>	•			tem 13		
PMC 346 — permeability 263 static Poisson's equation 44, 153 — susceptibility 262 quasi—— field 365 polarization 123 relaxation time 191, 300 stationary current 191 — charge 123 reluctance 267 steady-state response 381 electronic 146 residual Stokes' theorem 42 orientation 146 — magnetic flux density 275 Stratton's theorem 44 Popov, A.S. 317 — magnetism 275 superconductivity 211 position vector 14 — magnetization 275 superconductor 278 potential resistance high temperature 211 diffusion 188 electric 194 superposition principle 6 electric 82 internal 201 superposition principle 6 electrostatic 82 resistivity 194 closed — current density 248	•	-			-	
Poisson's equation 44, 153 — susceptibility 262 quasi—— field 365 polarization 123 relaxation time 191, 300 stationary current 191 — charge 123 reluctance 267 steady-state response 381 electronic 146 residual Stokes' theorem 42 orientation 146 — magnetic flux density 275 Stratton's theorem 44 Popov, A.S. 317 — magnetism 275 superconductivity 211 position vector 14 — magnetization 275 superconductor 278 potential resistance high temperature 211 superconductor 278 electric 82 internal 201 superposition principle 6 electric 82 magnetic 267 surface magnetic 265 resistivity 194 closed — current density 248 vector 235 steady-state 381 open <td< td=""><td>•</td><td></td><td></td><td>263</td><td>•</td><td>210</td></td<>	•			263	•	210
polarization 123 relaxation time 191, 300 stationary current 191 — charge 123 reluctance 267 steady-state response 381 electronic 146 residual Stokes' theorem 42 orientation 146 magnetic flux density 275 Stratton's theorem 44 Popov, A.S. 317 magnetism 275 superconductivity 211 position vector 14 magnetization 275 superconductor 278 potential resistance high temperature 211 diffusion 188 electric 194 superposition principle 6 electric 82 internal 201 superposition principle 6 electrostatic 82 magnetic 267 surface magnetic 265 resistivity 194 closed — 25 retarded 355 response — current density 248 vector 235	_					365
— charge 123 reluctance 267 steady-state response 381 electronic — 146 residual Stokes' theorem 42 orientation — 146 — magnetic flux density 275 Stratton's theorem 44 Popov, A.S. 317 — magnetism 275 superconductivity 211 position vector 14 — magnetization 275 superconductor 278 potential resistance high temperature 211 diffusion — 188 electric — 194 superposition principle 6 electric — 82 internal — 201 superposition principle 6 electrostatic — 82 magnetic — 267 surface magnetic — 265 resistivity 194 closed — current density 248 vector — 235 steady-state 381 open — 25 power transient — 381 susceptibility 126 active — 384	-	,	1 0		•	
electronic — 146 residual Stokes' theorem 42 orientation — 146 — magnetic flux density 275 Stratton's theorem 44 Popov, A.S. 317 — magnetism 275 superconductivity 211 position vector 14 — magnetization 275 superconductor 278 potential resistance high temperature — 211 diffusion — 188 electric — 194 superposition principle 6 electric — 82 internal — 201 superposition principle 6 electrostatic — 82 magnetic — 267 surface magnetic — 265 resistivity 194 closed — 25 retarded — 355 response — current density 248 vector — 235 steady-state — 381 open — 25 power transient — 381 susceptibility 126 active — 384 retarded potential	-			,	*	
orientation — 146 — magnetic flux density 275 Stratton's theorem 44 Popov, A.S. 317 — magnetism 275 superconductivity 211 position vector 14 — magnetization 275 superconductor 278 potential resistance high temperature — 211 diffusion — 188 electric — 194 superconductor 278 electric — 82 internal — 201 superposition principle 6 electric — 82 magnetic — 267 surface magnetic — 265 resistivity 194 closed — 25 retarded — 355 response — current density 248 vector — 235 steady-state — 381 open — 25 power transient — 381 susceptibility 126 active — 384 retarded potential 355 electric — 126	O .					
Popov, A.S. 317 — magnetism 275 superconductivity 211 position vector 14 — magnetization 275 superconductor 278 potential resistance high temperature — 211 diffusion — 188 electric — 194 superdiamagnetism 278 electric — 82 internal — 201 superposition principle 6 electrostatic — 82 magnetic — 267 surface magnetic — 265 resistivity 194 closed — 25 retarded — 355 response — current density 248 vector — 235 steady-state — 381 open — 25 power transient — 381 susceptibility 126 active — 384 retarded potential 355 electric — 126				ity 275		44
position vector 14 — magnetization 275 superconductor 278 potential resistance high temperature — 211 diffusion — 188 electric — 194 superdiamagnetism 278 electric — 82 internal — 201 superposition principle 6 electrostatic — 82 magnetic — 267 surface magnetic — 265 resistivity 194 closed — 25 retarded — 355 response — current density 248 vector — 235 steady-state — 381 open — 25 power transient — 381 susceptibility 126 active — 384 retarded potential 355 electric — 126						
diffusion — 188 electric — 194 superdiamagnetism 278 electric — 82 internal — 201 superposition principle 6 electrostatic — 82 magnetic — 267 surface magnetic — 265 resistivity 194 closed — 25 retarded — 355 response — current density 248 vector — 235 steady-state — 381 open — 25 power transient — 381 susceptibility 126 active — 384 retarded potential 355 electric — 126	- :	14		275		278
electric — 82 internal — 201 superposition principle 6 electrostatic — 82 magnetic — 267 surface magnetic — 265 resistivity 194 closed — 25 retarded — 355 response — current density 248 vector — 235 steady-state — 381 open — 25 power transient — 381 susceptibility 126 active — 384 retarded potential 355 electric — 126	potential		resistance		high temperature —	211
electrostatic — 82 magnetic — 267 surface magnetic — 265 resistivity 194 closed — 25 retarded — 355 response — current density 248 vector — 235 steady-state — 381 open — 25 power transient — 381 susceptibility 126 active — 384 retarded potential 355 electric — 126	diffusion ——	188	electric ——	194	superdiamagnetism	278
magnetic — 265 resistivity 194 closed — 25 retarded — 355 response — current density 248 vector — 235 steady-state — 381 open — 25 power transient — 381 susceptibility 126 active — 384 retarded potential 355 electric — 126	electric ——	82	internal ——	201	superposition principle	6
retarded — 355 response — current density 248 vector — 235 steady-state — 381 open — 25 power transient — 381 susceptibility 126 active — 384 retarded potential 355 electric — 126	electrostatic ——	82	magnetic ——	267	surface	
vector — 235 steady-state — 381 open — 25 power active — 384 retarded potential 381 susceptibility 126 384 retarded potential 355 electric — 126		265	resistivity	194	closed ——	25
vector — 235 steady-state — 381 open — 25 power active — 384 retarded potential 381 susceptibility 126 384 retarded potential 355 electric — 126		355	response		—— current density	248
active — 384 retarded potential 355 electric — 126	vector —	235	,	381	open ——	25
	nower		transient	381	susceptibility	126
apparent —— 384 RFID 298	power		or ansient			
	-	384			electric ——	126

(T)		[U]		virtual work	
1-1				method of ——	115
tesla(T)	219	uncertainty principle	2	Volta, A.	5
theorem		unit		voltage	
Gauss' ——	35	—— normal vector	25	induced ——	288
Green's ——	44	SI ——	4	induction ——	288
Stokes' ——	42	vector	14	volume integral	28
Stratton's ——	44	[37]		[337]	
thermocouple	211	[V]		(W)	
Thomson W.	177	variational method	187	wave	
time		vector	12	electromagnetic ——	336
constant	300	area element ——	26	—— equation	332
mean free ——	191	basis ——	14	—— impedance	335
relaxation ——	191, 300	line element ——	23	longitudinal ——	334
total differential	10	position ——	14	number	337
transient		—— potential	235	plane ——	334
current	191	Poynting —	342	spherical ——	340
response	381	—— product	18	transverse ——	334
transmission line	344	unit normal ——	25	wavelength	337
transverse wave	334	unit ——	14	Weber, W.E.	215

—— 著 者 略 歴 —

宇野 亨 (うの とおる)

1980年 東京農工大学工学部電気工学科卒業

1985年 東北大学大学院博士課程修了(電気及通信工学専攻)

工学博士

1985年 東北大学助手

1991年 東北大学助教授

1994年 東京農工大学助教授

1998年 東京農工大学教授

現在に至る

白井 宏(しらい ひろし)

1980年 静岡大学工学部電気工学科卒業

1986年 アメリカ合衆国ポリテクニック大学大学院

博士課程修了(電気工学専攻)

Ph. D.

1986年 ポリテクニック大学研究員

1987年 中央大学専任講師

1988年 中央大学助教授

1998年 中央大学教授

現在に至る

電磁気学

Electromagnetics

© Toru Uno, Hiroshi Shirai 2010

2010年6月30日 初版第1刷発行

検印省略

者 字 亨 野 É 井 宏

株式会社 コロナ社 発行者

代表者 牛来真也

印刷所 三美印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844 · 電話 (03) 3941-3131 (代)

ホームページ http://www.coronasha.co.jp

ISBN 978-4-339-00814-2

(柏原)

(製本:グリーン)

Printed in Japan



無断複写・転載を禁ずる

落丁・乱丁本はお取替えいたします