日本エネルギー学会　編

シリーズ　21世紀のエネルギー 12

21世紀の太陽光発電

― テラワット・チャレンジ ―

荒川　裕則 著

コロナ社

コ　ロ　ナ　社

日本エネルギー学会
「シリーズ　21世紀のエネルギー」編集委員会

委 員 長　小島　紀徳（成蹊大学）
副委員長　八木田浩史（日本工業大学）
委　　員　児玉　竜也（新潟大学）
（五十音順）　関根　　泰（早稲田大学）
銭　　衛華（東京農工大学）
堀尾　正靱（科学技術振興機構）
山本　博巳（電力中央研究所）

（2009 年 2 月現在）

コロナ社

刊行のことば

本シリーズが初めて刊行されたのは，2001 年 4 月 11 日のことである。21 世紀に突入するにあたり，この世紀のエネルギーはどうなるのか，どうなるべきかをさまざまな角度から考えるという意味をタイトルに込めていた。そしてその第 1 弾は，拙著『21 世紀が危ない―環境問題とエネルギー―』であった。当時の本シリーズ編集委員長 堀尾正靭先生（現在は日本エネルギー学会出版委員長，兼 本シリーズの編集委員）による刊行のことばを少し引用させていただきながら，その後を振り返るとともに，将来を俯瞰してみたい。

『科学技術文明の爆発的な展開が生み出した資源問題，人口問題，地球環境問題は 21 世紀にもさらに深刻化の一途をたどっており，人類が解決しなければならない大きな課題となっています。なかでも，私たちの生活に深くかかわっている「エネルギー問題」は上記三つのすべてを包括したきわめて大きな広がりと深さを持っているばかりでなく，景気変動や中東問題など，目まぐるしい変化の中にあり，電力規制緩和や炭素税問題，リサイクル論など毎日の新聞やテレビを賑わしています。』とまず書かれている。2007 年から 2008 年にかけて起こったことは，京都議定書の約束期間への突入，その達成の難しさの中で当時の安倍総理による「美しい星 50」提案，そして競うかのような世界中からの CO_2 削減提案。あの米国ですら 2009 年にはオバマ政権へ移行し，環境重視政策が打ち出された。このころのもう一つの流れは，原油価格高騰，それに伴うバイオ燃料ブーム。資源価格，廃棄物価格も高騰した。しかし米国を発端とする金融危機から世界規模の不況，そして 2008 年末には原油価格，資源価格は大暴落した。本稿をまとめているのは 2009 年 2 月であるが，たった数か月前には考えもつかなかった有様だ。嵐のような変動が，「エネルギー」を中心とした渦の中に，世界中をたたき込んでいる。

もちろんこの先はどうなるか，だれも予測がつかない，といってしまえばそれまでだ。しかし，このままエネルギーのほとんどを化石燃料に頼っているとすれば数百年後には枯渇するはずであるし，その一番手として石油枯渇がすぐ目に見えるところにきている。だからこそ石油はどう使うべきか，他のエネル

コロナ社

ギーはどうあるべきかをいま，考えるべきなのだ。新しい委員会担当のまず初めは石油。ついで農（バイオマスの一つではあるが…），原子力，太陽，…と続々，魅力的なタイトルが予定されている。

再度堀尾先生の言葉を借りれば，『第一線の専門家に執筆をおねがいした本「シリーズ 21 世紀のエネルギー」の刊行は，「大きなエネルギー問題をやさしい言葉で！」「エネルギー先端研究の話題を面白く！」を目標に』が基本線にあることは当然である。しかし，これに加え，読者各位がこの問題の本質をとらえ，自らが大きく揺れる世界の動きに惑わされずに，人類の未来に対してどう生き，どう行動し，どう寄与してゆくのか，そしてどう世の中を動かしてゆくべきかの指針が得られるような，そんなシリーズでありたい，そんなシリーズにしてゆきたいと強く思っている。

これまでの本シリーズに加え，これから発刊される新たな本も是非，勉強会，講義・演習などのテキストや参考書としてご活用いただければ幸甚である。また，これまで出版された本シリーズへのご意見やご批判，そしてこれからこのようなタイトルを取り上げて欲しい，などといったご提案も是非，日本エネルギー学会にお寄せいただければ幸甚である。

最後にこの場をお借りし，これまで継続的に（実際，多くの本シリーズの企画や書名は，非常に長い間多くの関係者により議論され練られてきたものである）多くの労力を割いていただいた歴代の本シリーズ編集委員各位，著者各位，学会事務局，コロナ社に心から御礼申し上げる次第である。さらに加えて，現在本シリーズ編集委員会は，エネルギーのさまざまな分野の専門家から構成される日本エネルギー学会誌編集委員会に併せて開催することで，委員各位からさまざまなご意見を賜りながら進めている。学会誌編集委員会委員および関係者各位に御礼申し上げるとともに，まさに学会員のもつ叡智のすべてを結集し編集しているシリーズであることを申し添えたい。もし，現在本学会の学会員ではない読者が，さらにより深い知識を得たい，あるいは人類の未来のために活動したい，と思われたのであれば，本学会への入会も是非お考えいただくようお願いする次第である。

2009 年 2 月

「シリーズ 21 世紀のエネルギー」 編集委員長　小島　紀徳

コロナ社

はじめに

21 世紀を生きるわれわれにとって，解決すべき最大の課題は地球温暖化問題といわれて久しい。2014 年 12 月に報告された IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change, 気候変動に関する政府間パネル）第 5 次評価報告にもあるように，この間の地球の平均気温は年々上昇の一途をたどり，とどまる気配を見せていない。また，われわれが使用し続ける石油，天然ガス，石炭などの化石燃料エネルギーから排出される炭酸ガス（CO_2）が地球温暖化の主要因であることも確実になってきている[1),†]。さらに，地球温暖化が原因と推定されるような竜巻，集中豪雨，酷暑などの異常気象が，日本でも観察されるようになってきた。世界各国が協力して，早急に効率的な温暖化対策に着手しなければならない時期に来ている。

幸い，2015 年 12 月にパリで開催された第 21 回気候変動枠組条約締約国会議（21th Conference of the Parties, COP21）において，「今世紀後半には人為的な活動による CO_2 の排出量をゼロにする」という目標を掲げた取決め，いわゆるパリ協定が 12 月 12 日に採択された。パリ協定の画期的なところは，気候変動枠組条約に加盟する 196 ヵ国すべてが参加する多国間国際的協定である。そして，2020 年以降の温暖化対策として世界の平均気温の上昇を産業革命以前に比べて 2 ℃以下（できれば 1.5 ℃以下）に抑えることを目的としている。パリ協定の発効には 55 ヵ国以上が批准し，世界の CO_2 などの温暖化ガス総排出量の 55 %に達する必要があるとされていたが，その後 2016 年 10 月 5 日の時点でアメリカ，中国，ロシアなど 72 ヵ国が批准し，その温暖化ガス排出量が 56.75 %となり，国数と排出量のいずれの条件も満たし，2016 年 11 月 4 日に発効した。

しかしその後，アメリカのトランプ新大統領がパリ協定離脱を表明した。正式離脱には 4 年程度の年月が必要であり，離脱は次期アメリカ大統領選挙後の 2020 年 11 月になると見られているが，世界各国の懸念事項となっている。

† 肩付き番号は巻末の引用・参考文献を示す。

コロナ社

パリ協定では目標達成のため，各国はそれぞれの CO_2 の削減量の目標を提示し，それについて実行努力をすることになる。しかし，いかにして CO_2 排出量を減らすかの具体策は，各国に委ねられている。なによりも化石燃料に代わり CO_2 を排出しない再生可能エネルギーを利用する以外に手はない。

再生可能エネルギーの中でも，太陽光や風力は水力に比べ，いままでそれほど使用されてこなかった。しかし，地球温暖化問題が人類にとって最大の課題となったいま，化石エネルギーから再生可能エネルギーへのシフトは 21 世紀における必須事項となっている。それゆえ，ヨーロッパを中心とした先進諸国では，再生可能エネルギーの積極的な導入が図られ，2030 ～ 2040 年頃には 1 次エネルギーの約 20 %を再生可能エネルギーで賄う計画を立て，実行している国が多い。数多くある再生可能エネルギーの中では太陽光発電が，使いやすさ，維持や保全の簡便さ，環境負荷の少なさから最も有望視されている。

日本は，エネルギー自給率がわずか 6 %と，欧米先進国に比べ極端な化石エネルギー資源小国である[2)]。現在，電力の約 90 %は化石エネルギーで賄われ，地球温暖化対策と逆行するような状況となっているが，日本政府も再生可能エネルギーの導入に積極的に取り組んでいる。太陽光発電については，積極的導入施策により，大幅な導入が進んでいるが，その急速な導入によって課題も見えてくるようになってきた。

本書は日本エネルギー学会編，「シリーズ 21 世紀のエネルギー」を構成する 1 冊として企画された。再生可能エネルギー，特に太陽光発電技術について広く学習したい読者を対象として，太陽電池や太陽光発電システムなどの基礎から研究開発の現状，将来展望まで，わかりやすく解説したつもりである。エネルギー，資源，化学系の大学学部や大学院の教科書や参考書としても使用できると考えている。ご活用いただければ幸いである。

本書の発刊にあたり，日本エネルギー学会・出版委員会ならびにコロナ社に感謝の意を表する。

2017 年 9 月

荒川　裕則

コロナ社

目　　次

1　無尽蔵の太陽エネルギー

1.1　太 陽 の 構 造 …… 1
1.2　太陽のエネルギー …… 3
1.3　地球が受ける太陽エネルギーの大きさ …… 4
1.4　太陽光スペクトルの分布 …… 5
1.5　地球が受ける太陽エネルギーのゆくえ …… 7
1.6　人類の太陽エネルギーの利用 …… 8
1.7　人類の発展と地球温暖化 …… 9
1.8　再生可能エネルギーの使用 …… 13
1.9　一次エネルギーと二次エネルギー，新エネルギー …… 14
1.10　世界の再生可能エネルギーの使用状況 …… 15
1.11　再生可能エネルギーの賦存量 …… 17
1.12　太陽光発電の可能性 ― テラワット・チャレンジ ― …… 18
1.13　ドイツの“エネルギー転換”政策 …… 20
1.14　シェル社の“ニュー・レンズ・シナリオ” …… 23

2　太陽電池の基礎

2.1　太 陽 電 池 と は …… 25
2.2　太陽電池開発の歴史 …… 30
　2.2.1　光起電力効果の発見 …… 30

コロナ社

2.2.2 pn 接合型 Si 太陽電池の開発 …… 32
2.2.3 その他の pn 接合型太陽電池の開発 …… 36
2.3 太陽電池の発電原理 …… 36
2.3.1 半導体の特性 …… 36
2.3.2 半導体のドーピング …… 38
2.3.3 半導体の励起 ― 直接遷移と間接遷移 ― …… 39
2.3.4 光伝導効果と光起電力効果 …… 41
2.3.5 太陽電池の作動原理 …… 42
2.3.6 太陽電池の構造 …… 43
2.3.7 ホモ接合とヘテロ接合 …… 45
2.3.8 太陽電池の効率 …… 46
2.3.9 太陽電池の解放電圧（V_{oc}）の大きさに影響する因子 …… 48
2.3.10 太陽電池の短絡電流（J_{sc}）の大きさに影響する因子 …… 49
2.3.11 太陽電池の曲線因子（*FF*）の大きさに影響する因子 …… 51
2.3.12 太陽電池の最大変換効率（理論限界変換効率）はどれくらい？ …… 52
2.3.13 太陽電池の性能向上のための要素 …… 54
2.3.14 多接合型太陽電池 …… 56

3 実用化されている太陽電池

3.1 太陽電池の種類とその生産量 …… 58
3.2 Si 系太陽電池 …… 61
3.2.1 単結晶 Si 太陽電池 …… 61
3.2.2 多結晶 Si 太陽電池 …… 66
3.2.3 薄膜 Si 太陽電池 …… 68
3.2.4 ヘテロ接合太陽電池 …… 74
3.2.5 球状 Si 太陽電池 …… 79
3.3 化合物半導体太陽電池 …… 81
3.3.1 CdTe 太陽電池（略称：カドテル太陽電池） …… 84
3.3.2 CIGS 太陽電池 …… 87

コロナ社

3.3.3　III-V 族太陽電池 …… 91
3.4　フレキシブル太陽電池 …… 99

4　これからの太陽電池

4.1　太陽電池の課題 …… 101
4.1.1　太陽光発電の普及 …… 101
4.1.2　発 電 コ ス ト …… 102
4.1.3　発電コスト低減のための研究開発 …… 103
4.1.4　太陽電池セルの最高性能 …… 107
4.2　新しい太陽電池 …… 108
4.2.1　有機薄膜太陽電池 …… 108
4.2.2　色素増感太陽電池 …… 117
4.2.3　ペロブスカイト太陽電池 …… 125
4.2.4　CZTS 太陽電池 …… 132
4.2.5　量子ドット太陽電池 …… 133
4.2.6　その他の太陽電池 …… 136

5　太陽光発電システム

5.1　太陽光発電システム …… 139
5.1.1　独立型太陽光発電システム …… 140
5.1.2　住宅用太陽光発電システム …… 140
5.1.3　大規模太陽光発電システム …… 142
5.2　太陽光発電システムの商用化 …… 148
5.2.1　日本における太陽光発電システムの商用化の歴史 …… 148
5.2.2　日本における太陽光発電システムの導入実績と今後の予想 …… 151
5.2.3　固定価格買取制度 …… 153
5.2.4　改正 FIT 法の施行 …… 156

コロナ社

5.2.5 各国における太陽光発電システムの導入実績 …… 157
5.3 太陽光発電システムのこれからの課題 …… 158

6 21 世紀の太陽光発電の計画と構想

6.1 世界の太陽光発電導入計画 …… 166
6.2 建物の壁面や窓面への太陽光発電システムの設置
— BIPV と ZEB — …… 169
6.3 太陽光発電の効率的利用
— スマートグリッドとスマートシティ — …… 170
6.4 世界を繋ぐ太陽光発電システム — GENESIS 計画 — …… 172
6.5 アジアの広域連係網 — アジアスーパーグリッド構想 — …… 173
6.6 デザーテック構想とサハラソーラーブリーダー計画 …… 173
6.7 宇宙太陽光発電システム …… 175

引用・参考文献 …… 177
お わ り に …… 188

コロナ社

1

無尽蔵の太陽エネルギー

1.1 太陽の構造

宇宙には数多くの銀河が存在し，天の川銀河もその中の一つである。太陽は天の川銀河の中にある，みずから光を放つ恒星の一つである。太陽の大きさは膨大で，その直径は 140 万 km で地球の 109 倍，質量は約 2×10^{30} kg で地球の約 33 万倍，密度は 160 g/cm^3 で地球の約 29 倍，または鉄の 20 倍といわれている[3)]。**図 1.1** に，太陽と地球などの惑星の大きさの比較と位置関係を示す。太陽は，その惑星に比べ，いかに大きいかがわかる。地球は太陽系の惑星の中では小さいほうで，太陽と地球は，約 1 億 5 000 万 km 離れている。

太陽は，いまから約 46 億年前に宇宙空間に存在する固体の微粒子（宇宙塵）や水素やヘリウムなどのガスが集まり誕生した。太陽は集まった宇宙塵やガス

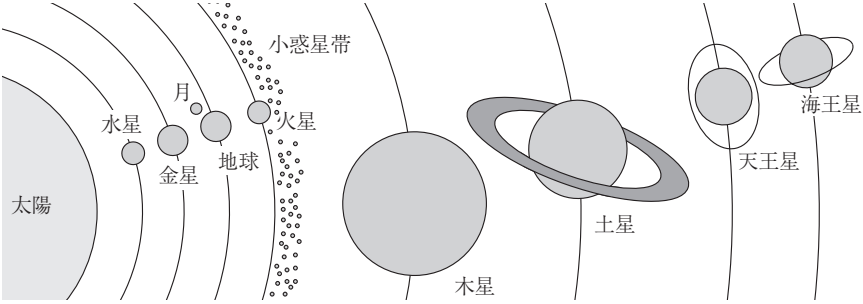

図 1.1　太陽と地球などの惑星の大きさの比較と位置関係

コロナ社

の引力により収縮し，その内部が高温高圧状態となっている。そして水素原子どうしが衝突して原子核融合反応が起きてヘリウムが生成し，それと同時に膨大なエネルギーを放出している。太陽の中にある水素の量から太陽の寿命を予測でき，その寿命は 100 億年ほどといわれている。生まれてからいままで 45 億年ほど経っていると考えられるので，あと 55 億年は燃えて光り輝く状態にあるといえる。これが，太陽は無尽蔵のエネルギー源といわれる理由でもある。

太陽の内部構造や外形を，もう少し詳細に見てみよう。**図 1.2** に太陽の構造を示す。太陽の中心部から太陽核（半径 10 万 km），放射層（厚さ 40 万 km），対流層（厚さ 20 万 km），光球面（厚さ 600 km），彩層面（厚さ 2 000 km）と続く。太陽核内部の温度は約 1 500 万 ℃で，圧力 2 500 億気圧の水素がある。

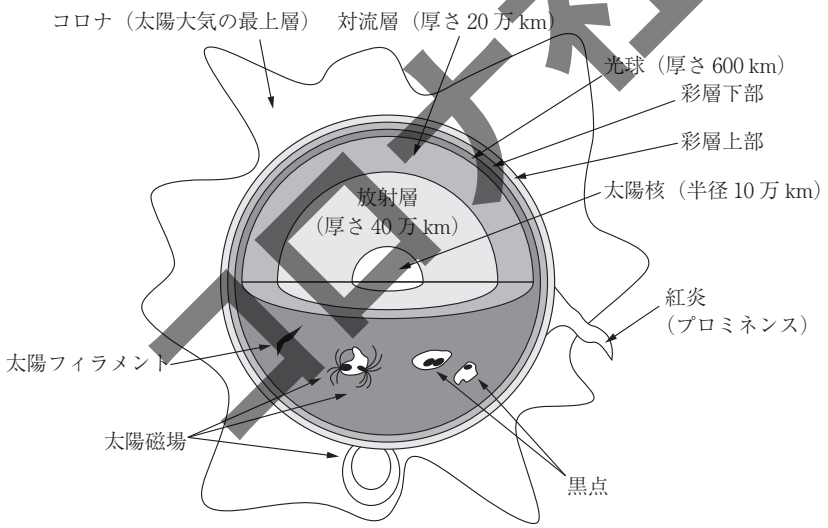

図 1.2　太陽の構造

このような高温高圧では水素原子どうしが衝突して核融合反応が起き，エネルギーの高い γ 線が放出される。放出された γ 線は太陽核の外側にある放射層に入り，さらにその外側にある対流層を経て，光球面に達し太陽光として放出される。放射層に入った γ 線が，周囲のガス体に吸収されたりしてエネルギーの低い，いろいろな波長の電磁波（X 線，紫外線，可視光線，赤外線，電波な

ど）となり，光球面に達するまでに数十万年かかるといわれている。太陽の輪郭となる光球面の上には太陽の希薄なガス層である彩層面があり，さらに，その外側には中性のガス原子とプラズマ粒子が衝突することなく移動できる太陽の大気層であるコロナ（光冠）が存在する。光球面（約 6 000 ℃）には太陽磁場の影響で発生する黒点と呼ばれる温度の低い部分（約 4 000 ℃）も存在する。さらに彩層面の上層部の所々には，彩層の濃いガスが，彩層よりもずっと希薄なコロナの中へ伸び，磁力線で持ち上げられたプロミネンス（太陽紅炎）が存在する。また，フィラメントもプロミネンスと同じものであるが，光球面からの光がプロミネンス中の物質により吸収されてしまうため黒く見える。

1.2　太陽のエネルギー

さて，太陽核の中で起きる水素原子の核融合反応で生成した，太陽エネルギーの大きさはどれくらいなのだろうか。**図 1.3** に太陽核の中で起こる水素原子核融合反応の反応式を示す。

$$
\begin{array}{l}
{}^{1}\mathrm{H} + {}^{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{2}\mathrm{H}\text{（重水素）} + \mathrm{e}^{+}\text{（陽電子）} + \nu\text{（ニュートリノ）} + E_1\text{（エネルギー）} \\
{}^{2}\mathrm{H} + {}^{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{3}\mathrm{He}\text{（ヘリウム同位体）} + \gamma\text{（ガンマ線）} + E_2\text{（エネルギー）} \\
{}^{3}\mathrm{He} + {}^{3}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{4}\mathrm{He}\text{（ヘリウム）} + {}^{1}\mathrm{H} + {}^{1}\mathrm{H} + E_3\text{（エネルギー）} \\
\hline
\text{全体反応 } 4\,{}^{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{4}\mathrm{He} + 2\mathrm{e}^{+} + 2\nu + 2\gamma + 2E_1 + 2E_2 + E_3
\end{array}
$$

図 1.3　太陽核の中で起こる水素原子核融合反応

まず，超高温・超高圧の水素原子（${}^{1}\mathrm{H}$）が，たがいにぶつかり，質量が 2 倍の重水素原子（${}^{2}\mathrm{H}$）が生成する。その際，陽電子（e^{+}）とニュートリノ（ν）とエネルギー E_1 が放出される。つぎに，生成した重水素原子（${}^{2}\mathrm{H}$）と水素原子（${}^{1}\mathrm{H}$）がさらにぶつかり，質量数 3 のヘリウム同位体であるヘリウム 3 原子（${}^{3}\mathrm{He}$）が生成する。その際に γ 線とエネルギー E_2 が放出される。最後にヘリウム 3 原子（${}^{3}\mathrm{He}$）がたがいにぶつかり合い，1 個のヘリウム原子（${}^{4}\mathrm{He}$）と 2 個の水素原子（${}^{1}\mathrm{H}$），そして大きなエネルギー E_3 を放出する。最終的には 4 個の水素原子（${}^{1}\mathrm{H}$）から 1 個のヘリウム原子（${}^{4}\mathrm{He}$）が生成する。水素原子（${}^{1}\mathrm{H}$）

コロナ社

4 個の質量は 1.007 9 u×4＝4.031 2 u であり[4)]，ヘリウム原子（^{4}He）1 個の質量は 4.002 6 u であるから，その差すなわち 4.031 2 u－4.002 6 u＝0.028 6 u の質量，約 0.71 %が減ったことになる。ここで u は統一原子質量単位を示す。この減った質量が太陽のエネルギーとなって放出される。アインシュタインの特殊相対性理論で有名な式 $E=mc^2$（E：エネルギー，m：質量，c：光速度）にあるように，質量とエネルギーは等価で，質量はエネルギーに変換できることが示されている。太陽では毎秒 3.6×10^{38} 個の水素がヘリウムに変換され，約 430 万トン（43 億 kg）の質量が減少し，3.8×10^{26} J（ジュール）という膨大なエネルギーが放出されている。この値は広島型原爆の 6×10^{12} 倍にもなる。

1.3　地球が受ける太陽エネルギーの大きさ

太陽は，上述したように毎秒 3.8×10^{26} J という膨大なエネルギーを宇宙に放出するが，そのうち地球に届くエネルギーはどれくらいだろうか。太陽は球体で，あらゆる方向に太陽エネルギーを放出している。地球と太陽との距離は約 1.5 億 km であるので，この距離を半径 r_s とする球体の表面全体に太陽のエネルギーは降り注ぐことになる。その球体の表面積は，$4\pi r_s^2=4\times3.14\times(1.5$ 億 km$)^2=2.826\times10^9$ 億 km^2 となる。一方，地球の赤道半径 r_e は 6 378 km であるので，その断面積は $\pi r_e^2=3.14\times(6\,378\text{ km})^2=1.277$ 億 km^2 となる。したがって，全太陽エネルギーの約 22 億分の 1 のエネルギーを地球が受けることになる。

すなわち，宇宙で地球が受けるエネルギーは約 1.72×10^{17} J/s であり，換言すれば 1.72×10^{17} W（ワット）＝1.72×10^5 TW（テラワット）となる。この値から，地球が 1 時間に受ける太陽エネルギーを計算すると，その値は人類が 1 年間に消費するエネルギーに相当するくらい膨大なエネルギーとなる。また，1 秒間に受けるエネルギーを地球の表面積 1 m^2 当りのエネルギーに換算すると，1 366 W/m^2 となる。このエネルギー値 1 366 W/m^2 は大気圏外の太陽光に垂直な面に入射するエネルギーであり，太陽定数（solar constant）と呼ば

朝倉書店

れている。

地球大気の上端の大気圏外（大気のない層）を地表に対して垂直に通過する太陽光を AM 0 の状態の太陽光と呼ぶ。AM とは air mass（エアマス）のことで，太陽光が地表に到達するまでの間に大気中を通過する距離を示す単位である。したがって，**図 1.4** に示すように太陽光が地表に垂直に入射する場合，すなわち大気通過量が一番少ない場合を AM 1 と呼ぶ。赤道直下の太陽光がこれに相当する。太陽光が大気中を通過すると，大気に含まれる水蒸気，CO_2，オゾン，エアロゾル（微細な塵）などによって吸収・散乱されるため，地表面に到達する太陽エネルギーは太陽定数よりも小さくなる。太陽光の入射角が 42°，すなわち天頂角が 48° の温帯地域では太陽光の大気通過量が赤道直下に比べて約 1.5 倍となり AM 1.5 の状態となる。AM 1.5 では太陽光の入射エネルギーは 1 000 W/m^2（100 mW/cm^2）程度となる。

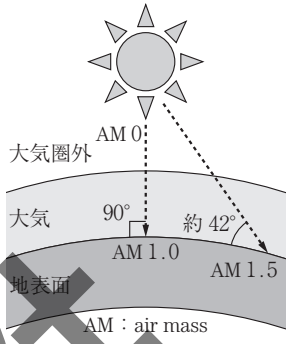

図 1.4　太陽光の地表への入斜角度と大気通過距離

日本では，北緯 35° 付近の東京で真夏の快晴時の正午には 1 000 W/m^2 以上の太陽光エネルギーが照射される。地表の太陽光エネルギーの大きさは，上述したように地球の緯度により異なるが，季節や時間によっても異なる。これは，地球が太陽の周りを楕円軌道で回っていることと，地球の軸が傾いているため季節や時間により太陽光の入射角度が異なるからである。

1.4　太陽光スペクトルの分布

地球が受ける太陽エネルギーは，太陽光として地上に降り注ぐ。**図 1.5** に太陽光のスペクトル分布を示す。

まず，破線 A は 6 000 K に加熱された黒い物体から放射される光の分布，すなわち黒体輻射スペクトルを示している。実線 B，すなわち大気圏外（AM 0）

コロナ社

お　わ　り　に

太陽光発電技術について太陽エネルギーの基礎から，太陽電池，太陽光発電システム，これからの太陽光発電計画と幅広く紹介してきた。21 世紀を生きるわれわれにとって，持続可能な社会を維持するために，太陽光発電技術は最も重要な技術の一つであることを理解していただければ幸いである。そして，太陽光発電技術に興味を待たれた学生諸君や技術者・研究者の方々が，21 世紀の太陽光発電技術の発展に貢献されることを期待してやまない。

2017 年 11 月

荒川　裕則

コロナ社

―― 著 者 略 歴 ――

1976 年　東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了（化学工学専攻）
　　工学博士
1976 年　通商産業省工業技術院東京工業試験所入所
1979 年　カリフォルニア大学バークレー校博士研究員
1989 年　通商産業省工業技術院化学技術研究所研究室長
1997 年　通商産業省工業技術院物質工学工業技術研究所基礎部長
2001 年　産業技術総合研究所光反応制御研究センターセンター長
2004 年　東京理科大学教授
2008 年　東京理科大学総合研究院太陽光発電研究部門部門長
2009 年　東京理科大学大学院総合化学研究科研究科長
2015 年　東京理科大学名誉教授

コロナ社

21 世紀の太陽光発電 ― テラワット・チャレンジ ―

Solar Photovoltaics Technologies for the 21st Century

©一般社団法人 日本エネルギー学会　2017

2017 年 12 月 20 日　初版第 1 刷発行

検印省略

編　　者　一般社団法人
　　日本エネルギー学会
　　ホームページ　http://www.jie.or.jp
著　　者　荒川裕則（あらかわ ひろのり）
発 行 者　株式会社　コロナ社
　　代 表 者　牛来真也
印 刷 所　萩原印刷株式会社
製 本 所　有限会社　愛千製本所

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 978-4-339-06832-0　C3350　Printed in Japan　（中原）

本書のコピー，スキャン，デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。
購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は，いかなる場合も認めていません。
落丁・乱丁はお取替えいたします。