

太陽光発電における国際標準化の新展開

Recent trends of international standards on solar photovoltaics

近藤道雄*

1. はじめに（背景）

パリ協定における二酸化炭素排出削減への世界的合意、国連でのSDGsの採択、投資家たちの意識の変化によるESG投資の増加、企業価値を高めるRE100への参画企業の増加、など再生可能エネルギーを取り巻く世界の状況はこの10年間で大きく変化したと言って良い。再生可能エネルギーを企業や社会が我先にと取り入れるようになったと言うことである。日本の2050年における二酸化炭素排出削減目標は80%削減であり、そのためには再生可能エネルギーの役割が本質的である。第五次エネルギー基本計画の中にも再生可能エネルギーの主力電源化というキーワードが盛り込まれたことは記憶に新しい。

再生可能エネルギーには太陽光、太陽熱、風力、水力、バイオマス、地熱、波力、潮力など様々であるが、現在のところ、日本では大規模水力を除いて太陽光と風力が中心となっている。2050年断面の導入予測では太陽光発電が200GW程度⁽¹⁾、風力が75GW⁽²⁾程度とされている。これを全部合計すると日本の現在の発電設備容量を大幅に超えるもので有り、発電量に換算しても現在の総発電量の半分近くを占めることに相当する。

世界的に見ると、自然エネルギー世界白書ではいくつかの予測を比較しているが、風力では2050年で累積1.2～8TW、太陽光で0.7～9TWと非常に幅がある⁽³⁾。最大ケースでは風力と太陽光併せて17TWという量になり、稼働時間を考慮しても現在の世界の一次エネルギー供給の20%以上、電力をほぼすべて再生可能エネルギーでまかなえる計算になる。

これらを経済価値に換算すると現在の再生可能エネルギーに対する投資金額が30兆円、2050年には

これが二倍程度に増加することが予想されている⁽³⁾。

このように再生可能エネルギーの環境的、経済的効果は莫大であり、日本の産業としても重要な柱になることは論を待たない。

一方、それに伴って産業構造はグローバル化し、かつ複雑化の一途をたどっている。一つには市場の拡大である。これまではヨーロッパ、アメリカや日本を中心とした先進国が市場の中心であったが、最近ではアジア、アフリカ、中南米と言った新興国、特に日射条件の良い地域に市場が広がってきている。これは太陽光発電の特性を考えたときに極めて自然なことであるが、設置環境としては非常に厳しい条件になる。製造拠点も世界中に広がり新興国では次々と新しい企業が参入を始めている。その結果、新興国からどんどん価格の安い製品が市場に投入され競争が激化していくことになる。このことは太陽光発電のコストを下げることに寄与しているという意味で悪いことではないが、過大なコスト競争は品質低下を招く危険性もある。

さらに、先進国では低コスト化競争を免れるために例えば住宅やビルなどの自家消費市場である高付加価値市場への移行が起こりつつある⁽⁴⁾。これは画一的な製品の大量生産ではなく多種多様な製品を作り分けるといった高度な生産技術を要求すると同時に、少量生産された製品の品質の確保とコスト低減という問題を提起している。

このように太陽光発電産業は堅調な成長、低コスト化への市場圧力と多種多様な高付加価値製品への対応といったトリレンマの中にさらされていると言って良いであろう。本稿ではそのような中で国際標準化がどのような役割を果たすべきかについて考察しよう。

*（国研）産業技術総合研究所、福島再生可能エネルギー研究所

2. 国際標準化とは

国際標準の位置づけは工業製品が国を超えて国際的に取引される国際取引を円滑に行なうために生まれたものである。標準の目的は①計量試験方法を統一することで公平な取引を行なうこと、②互換性を確保し、メーカーとユーザーの双方の便益を高めること、③製品の品質や安全性を担保すること、そして最近では4番目としてマネジメント規格という新しい分野が出現している。4番目の代表的な例はISO9001のような品質マネジメント規格であり、製品やサービスに対する規格ではなく、それらを生み出す方法論に対する規格である。

図1に示されるように標準化活動を階層化してみると業界団体が作る団体標準（コンソーシア標準）、国が作る国家標準（日本でのJIS）、ヨーロッパのように多数の国家が地域で連携して作る地域標準、世界中の国が議論し合意を得る国際標準の4つの階層に別れる。この中で国際標準と呼べるのはISO, IEC, ITUの3つの機関が発行するものだけである。国際標準は最終的には各国一票の投票によって可否が決定される。国際標準は利害の対立する複数の国の間で合意を形成する必要があるため時には交渉に時間が掛かり、手続きも複雑であるが、国際標準はWTO加盟国はそれを基礎として国内規格を作成しなければならないため⁽⁵⁾、その影響力は極めて多大である。

最近では国際標準を戦略的に策定しようという動きが世界的に活発化している。標準化は市場を確保し支配するための手段になってきていると言うことであろう。言い換えると標準化を怠っていると競合相手に市場の支配権を握られてしまう危険性があると言うことである。

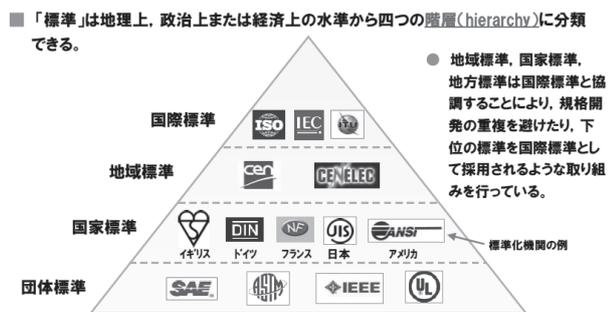


図1 標準化活動における階層（出典：日本規格化協会）

3. 太陽光発電における国際標準

太陽電池に関する国際規格は国際電気標準会議（IEC）の第82技術委員会（TC82）“Solar Photovoltaic Energy System”が担当している⁽⁶⁾。この委員会は1981年に米国を幹事国として設立された。現在までに113件の国際標準を発行し、進行中のプロジェクトが66件ある。これはIEC全体の中でトップ3を誇る活動実績である。筆者は2016年から委員会の国際議長を拝命している。

太陽電池の国際規格の中で最も重要なのは設計規格（IEC 61215）と安全性規格（IEC 61730）の二つであるが、これらは太陽電池が期待される長期間稼働のための“必要最小限”の要件を規定している。例えば太陽電池パネルの中の使用部材の要件、完成したパネルの試験方法などである。代表的な太陽光発電関連のIEC国際規格が表1に示されている。この中で例えば60904シリーズは太陽電池モジュールのデバイスの主に測定に関する規格、61853シリーズは太陽電池モジュールの発電量評価に関する規格、62446はシステムの試験に関する規格、62557シリーズは村落電化などオフグリッドシステムに関する規格、62788シリーズは太陽電池モジュールに用いられる部材の計測法に関する規格である。61724シリーズはシステム性能に関する規格であるが、この中のPart 1: Monitoringの規格はIECの中でもトップ10セールを誇っている。システムの規格がベストセラーになるというのも時代の流れを反映しているように思われる。

では具体的に太陽光発電の中で国際標準が果たしてきた役割はどのようなものであろうか？

表1 過去2年間でIEC TC82で発行された太陽光発電に関する国際規格

IEC 60904-1-1:2017	IEC 62446-1:2016/AMD1:2018	IEC 62805-2:2017
IEC 60904-8-1:2017	IEC TS 62446-3:2017	IEC 62817:2014/AMD1:2017
IEC TS 60904-13:2018	IEC 61853-3:2018	IEC TS 62915:2018
IEC 61215-2:2016/COR1:2018	IEC 61853-4:2018	IEC 62920:2017
IEC TS 61724-3:2016/COR1:2018	IEC 62688:2017	IEC 62979:2017
IEC TS 62257-9-5:2018	IEC TS 62738:2018	IEC TS 62989:2018
IEC PAS 62257-10:2017	IEC 62788-1-5:2016/COR1:2017	IEC TS 63049:2017
IEC TS 62257-7:2017	IEC TS 62788-2:2017	IEC TR 63149:2018
IEC TS 62257-7-3:2018	IEC TS 62788-7-2:2017	
IEC TS 62257-8-1:2018	IEC 62805-1:2017	

時代は1970年代にまで遡る必要があるが、アメリカにおいてジェット推進研究所（JPL）が地上設置太陽光発電に用いるパネルに求められる仕様について、またそれを試験する試験方法について研究を行なっている⁽⁷⁾。日本でサンシャイン計画によって太陽光発電の研究開発が始まったのは1974年、太陽電池が最初に住宅の屋根に乗って系統連系を始めたのは1992年と言うことを考えると、1970年代というのはまだ黎明期よりはるか前であると言うことに驚嘆するが、その蓄積が今現在も太陽電池における技術規格に受け継がれている。

試験規格が如何に重要であるかは、上述のJPLプロジェクトの中で明確化されている。信頼性試験の中に温度サイクル試験というものがある。これは-40℃から90℃までの温度サイクルを一定数繰り返したのちに太陽電池出力が初期値の95%を保っているかどうかを試験するものである。当初この繰り返し数を50回と規定されていたが、それに基づいて試験された製品は砂漠地帯では数年で多くの故障を起こしてしまった。その後繰り返し数は200回と変更され、その結果200回の繰り返し試験を満たした製品は10年間での故障確率は45%から0.1%にまで激減されたと報告されている⁽⁷⁾。

これらの成果はIEC 61215という規格として初版が1993年に発行された。この規格はその後何回かの改訂を受けながら今でも太陽電池モジュールの設計のバイブルとして活用されている。2005年の改訂ではバイパスダイオードテストが追加された。バイパスダイオードは太陽電池パネルの中の直列接続されたセルやセルの接続が正常に機能しなくなったときに発電電流を迂回させるために組み込まれたものであるが、それが故障しているとセルの過熱が起こったり、バイパスダイオードが格納されている端子箱が過熱したりする。場合によっては図2に示されるようにBurn Marksと呼ばれる焦げあとを生じることがある。これは最悪火災につながる懸念

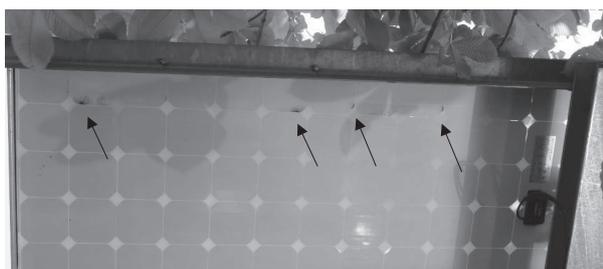


図2 太陽電池モジュール裏面に見られる Burn Marks (矢印)

念される。しかし、2005年の改訂を契機にバイパスダイオードの故障は大幅に軽減されたと考えられている。

このように国際規格は時代と共に改訂され、製品の信頼性を高めることに貢献している。

しかしながら、これらの規格はあくまで必要最小限の要件であって、最近多くの製品で採用されている20年～30年といった長期間の信頼性を保証するもので無いと言うことに注意する必要がある。実際に、10年程度経過したシステムでも様々な不具合を起こしており、加藤らは産総研に設置されて10年が経過した5000枚のモジュールを全数調査し、20%以上出力低下したモジュールが3%、バイパスダイオードの不具合などの安全性に問題のあるモジュールが18%存在することを報告した⁽⁹⁾。国際的にはIEA PVPS Task13において様々な参加国における性能や不具合のデータ収集と解析が行なわれている⁽¹⁰⁾。

太陽電池という製品は一般的な電気製品と異なり期待されている製品寿命が異例に長い。従って製品を上市したあとで不具合が起こるまでに時間が掛かることが一般的で有り、故障の原因を特定するのにも時間が掛かることと、設置条件が気象含めて多様であり、故障原因も複雑であることから、例えば20年の寿命を検証するために必要な試験方法はまだ確立されていない。

この長寿命を検証する試験方法、ひいては設計手法はこれからの課題で有り、そのために国際的な連携スキーム“Quality Assurance Forum”が2011年、日本の産総研、米国のNREL、ヨーロッパのJRCの三者の連携で組織された⁽⁸⁾。これはたとえば長寿命のための規格策定の基礎となる太陽電池の劣化メカニズムの科学的な理解を目的としており、誰でも参加できるオープンで且つ機動的な組織として重要な役割を果たしている。実際、このPVQATが設立されて以来IEC TC82での規格の新規提案数は急激に増え、標準化活動の活性化に多大な貢献をしている。

長寿命を担保する規格のニーズはユーザサイドや投資家サイドから高まってきているといえる。これまでの標準はどちらかというと供給サイドが主体となって策定されてきたが、これからは需要サイドに主体が移行していくと考えられる。太陽光発電の大規模の発電プロジェクトには20年以上の電力買い取り契約（PPA）が締結されることが多いが、そのプロジェクトに対する融資条件として20年間の安

定的な発電を保証することが求められる。そのため、事業者やコンサルタントが独自の試験方法を提案、導入してリスクを低減している。一つの理想としては国際的に統一された20年間動作保証のための試験規格が策定されることだが、先にも述べたように設置条件の多様性からそれは容易ではない。

多様性への対応の一つの例として、高温地域での利用を前提とした太陽電池の規格についてガイドラインの策定が IEC TS 63126 として検討されている。ここでは試験条件について試験温度を環境に応じて高めることが推奨されている。一般に太陽電池のパネルの温度は気温と線型な関係があり、気温が10℃高ければ、それ以外の条件が同一であるならパネルの温度も10℃高い。たとえば日本では最高気温は高々40℃程度であるが、中東、アフリカでは50℃以上に達することがしばしば起こる。従って、最高気温を40℃を想定されて作られた試験規格に準拠して製造された製品を50℃の環境で使用すると、何らかの不具合を発生する可能性は極めて高くなる。昨今、気候変動により、かつて無いほどの高い気温を経験するようになった。日本でも50℃という環境を考えなければならない日が来るかもしれない。

日射量という観点でも年間日射量を比較するとドイツや日本と中東地域では約2倍異なる。つまりドイツの20年間の日射量は中東の砂漠地帯では10年分しかないことになる。逆に中東での20年間はドイツでは40年間稼働したと同等である。

太陽光発電がグローバルに普及拡大し始めて、まだ20年程度であり、厳しい気候条件では様々な劣化や故障が起こり始めても不思議ではない。太陽光発電が普及すればするほど、それを長期に運用し続けることが重要である。そのためどのような規格が必要か、まだまだ課題は山積されている。

4. 新しい国際標準化の波

国際標準はかつては横並びのための手段で有り、互換性の確保や利便性の向上、あるいは必要最小限の安全性の確保が主たる目的であった。また、合意形成は重要だが時間が掛かっていた。これを改善するために、日本ではトップスタンダード制度により国内での合意形成を短縮して迅速に国際標準化提案が行えるようになってきている。これにより時代の変化や技術革新に迅速に対応し、世界をリードすることが可能になった。

新しい時代に適合していくためには先見性とス

表2 地図(図3)の各都市における年間最高気温 (2014-2015)

Rank	Location	Extreme Temp (C)
1	Hafar Al Batin	50.9
2	Al Ahsa	50.2
3	Hada Alsham	49.8
4	Osfan	48.8
5	Aflaj	48.2
6	Daharan	48.0
7	Kharj	47.2
8	Dammam	47.1
9	Qassim	46.9
10	Shaqra	46.9
	Riyadh	46.6

(提供 PVTEC)

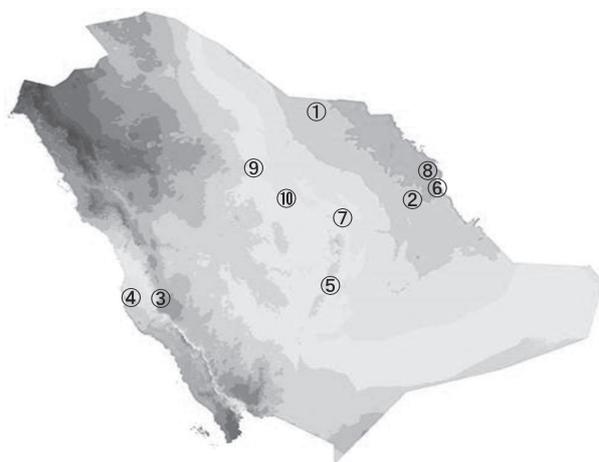


図3 サウジアラビアの各都市における気温計測

リードがまず重要である。新しいテーマに対してタイムリーにかつ迅速に着手することである。そのためには必要なバックデータを持っているかどうかは鍵である。標準化は合意形成であるが合意のためには論争があり、自分の主張を通すためにはそこで勝ち残っていく必要がある。最近の標準化の傾向は自分に有利なルールを作ること、人に自分に不利なルールを作らせないことである。単に声が大ききだけではダメで、説得力のある緻密な理論武装が必要といえる。最後に重要なのはネットワークングである。最終的には人が決めることであるから卑近な言い方ではあるが色んな人と仲良くしておく必要がある。信頼関係も構築しておく必要がある。

このような中でいくつかの例を挙げることにしたい。まず高温地域での標準化であるが、太陽光発電技術研究組合(PVTEC)がサウジアラビアでの太陽電池の地域適合標準を提案するプロジェクトを同国のKACAREと言う政府機関から受託し、現地

気象データと太陽電池モジュールの温度を調査した。その結果、現行の IEC 規格では明らかに試験条件が不足していることが明らかになり、改定案を提案した。その結果は、さらに様々な規格に展開され、試験温度の高温化などが現在も審議されている。さらに、国際的な規格として類似の気象条件下での試験規格として議論されている。これにより、より広範な気象条件下で太陽電池が安心して使えるようになることが期待される。地球規模での二酸化炭素削減には砂漠地帯のような厳しい自然環境下での太陽光発電が必須である。言い換えると、そこには非常に大きなビジネスチャンスが眠っているということである。眠れる市場にいち早くアクセスするためにはそのニーズに合わせた対応が肝心であろう。

新しい市場として期待されているものとして

- 1) 建築物一体型
- 2) 水上型、営農型
- 3) 移動体

などが考えられる。

1) は住宅屋根は日本ではむしろ平地置きより早くより発展したが、壁面用はこれからの市場と考えられている。壁面用のメリットは平地置きの適地が減少していく中で立地制約を受けにくい。これは特に都市部あるいは都市近郊部でメリットになる。建築物（ビル）は電力需要が大きく、壁面設置とすることで需給一体型システムが構築できる。需給一体型は自家消費によって電力消費が抑制できるので売電よりコストメリットが大きい。土地に余裕がないヨーロッパでは特に関心が高い。今後ゼロエネルギービルディング（ZEB）への社会的要請や規制が強まると予想されるので建築物一体型の市場が拡大すると期待されているがまだまだ市場は小さい。

市場拡大の障壁としてはカスタムメイドで少量生産であるためコストが高いということもあるが、もう一つの重要なポイントは建築業界と太陽電池業界の意識の乖離があると分析されている。太陽電池側の技術者は変換効率などの性能が最大の関心事で建築物として必要とされる意匠性については関心が低

かった。また、建築部材と電気製品との間で求められる要求仕様が合わないことも有り、お互いに使いづらいつらという部分もあった。図4にBIPVモジュールのいくつかの例が示されているが、従来のモジュールと比較して、色、機能（視認性）、デザインなど新しい付加価値を提供しようという意図が込められていることが解る。

そこで、建築業界と太陽電池業界がコミュニケーションを図る場を創り、双方に必要とされる要求仕様を標準化することで建築物一体型太陽光発電の市場拡大を図る試みがなされている。現在ガラス業界、建築業界、太陽電池業界が一体となって標準策定チームを組織し、建築物一体型太陽光発電のための国際標準（IEC 63092-1,2）が策定中である。これによって、建築業界の人が太陽電池にどのような仕様が必要であるか、太陽電池業界の人が建築に対してどのような仕様が必要であるかの相互理解が進むことが期待される。

2) の水上型や営農型は太陽光発電としての未利用地の有効活用の方策として注目されている。水上はため池やダム、浄水場などに設置することで土地制約を免れると共に、水上の方が冷却効果が高く、発電量の増大が期待されるなどのメリットがある。とくに日本は海で囲まれているために海洋への展開が期待される。しかし一方で塩害の影響など設置環境としては過酷になるため新たな技術仕様が求められることになると予想される。営農型は立地制約の解消、耕作放棄地の有効活用、農業の収益性の改善などメリットが大きく、導入ポテンシャルも非常に大きい。第五次環境基本計画に営農型の推進が明記されている。これらについても太陽光発電への理解不足に起因する安全性の問題や技術的な問題が懸念される。現時点では通常の平地置きと同じ基準が適用されることになると思われるが発電量の見積もりなど植生との関係を新たに考慮する必要もあると思われる。

3) については、これから自動車などの移動体の電動化やハイブリッド化が進むにつれ移動体への電力需要が増大すると考えられる。現在の技術ではステーションでの充電に時間も手間も掛かるため、走行中に電力が供給されることは利便性を大きく改善させる。最近 NEDO では図5のような車載型太陽電池の実証実験を開始した。プリウス PHV に 860W の太陽電池を実装し、太陽光発電だけで 40km 以上の航続距離が可能となる。今後は移動体であることによる発電環境の変動とそれによる発電



図4 BIPVモジュールの一例（SERIS）左端より透過性、着色モジュール、ブラックモジュール、ホワイトモジュール、描画モジュール。



図5 860Wの太陽電池を実装したPHV車（出典 NEDO）

量のへの影響，自動車に求められる特有の安全性，信頼性仕様など，標準化としては取り組むべき課題は多いと考えられる。

これらの新しい市場は大きさも未知な部分が多いが，一気にブレイクする可能性も高い。先んじて技術開発し，標準化でも主導権を取るとは市場戦略として極めて重要ではないだろうか？

5. 最後に

太陽光発電が人類の将来を支えるエネルギーであることに疑いの余地はない。発展途上国には電気にアクセスできない人々が世界には10億人いると言われている。太陽光発電によってそのような無電化地域の人々も電気を利用することが出来るようになる。先進国においても化石燃料からの二酸化炭素排出を削減するためには太陽光発電を始めとする再生可能エネルギーの導入拡大が必須である。建築物，水上，営農，車載など，新しい応用分野も次々に登場している。このように太陽光発電の市場は莫大である。しかしながらその莫大な市場を健全な競争に基づいて健全に発展させることが必要である。そしてその結果，消費者が太陽光発電を安心して使え，

より品質の高い製品が低価格で入手できるような仕組みを作ること，それが国際標準に求められる使命であろうと思う。

本稿を作成するにあたり，日本電機工業会，太陽光発電技術研究組合，太陽光発電協会，産業技術総合研究所の皆様の協力を頂いた。また，本稿内容の一部は経済産業省，（国研）新エネルギー・産業技術総合開発機構からの支援を受けたものである。関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 太陽光発電協会（JPEA）PV OUTLOOK 2050
- 2) 日本風力発電協会（JWPA）<http://jwpa.jp/jwpa/vision.html>
- 3) REN21 GSR Full Report 2017
- 4) IEA PVPS Task 15 <http://iea-pvps.org/index.php?id=task15>
- 5) 日本工業標準調査会 <https://www.jisc.go.jp/cooperation/wto-tbt-guide.html>
- 6) IEC ホームページ https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1276,25
- 7) John Wohlgemuth, PV Module Reliability WS 2012 (NREL 54714)
- 8) <https://www.pvqat.org/>
- 9) K. Kato et al. Proc. WCPEC6, 2014 Kyoto. <http://iea-pvps.org/index.php?id=275> “Review of Failures of Photovoltaic Modules”
- 10) <http://iea-pvps.org/index.php?id=275>, PVPS Task 13, “Review of Failures of PV Modules”