

# PEFCロードマップ詳細版

定置用○:一般、☆効率、□:耐久性、△:コスト、▽:利便性

自動車用●:一般、★効率、■:耐久性、▲:コスト、▼:利便性

PEFC-1

分類	要素	技術の現状	2015年			2020年			2030年				
			システム	<p>&lt;実用段階技術&gt;  <b>【定置用システム(改質形1kW級)】</b>                      1kW級システム市販開始(初期導入段階)                      ・発電効率 約32%~33%HHV/約35%~37%LHV                      ・総合効率 約77%~79%HHV/約85~87%LHV                      ・耐久性 4万時間                      ・システム価格 200~250万円/kW</p> <p>・大規模実証研究実績(システム運転平均効率)                      発電効率 約28%HHV/約31%LHV、熱回収効率約41%HHV/約45%LHV                      運転実績の蓄積と安全性を実証(約3307台を実環境下に設置し、データ蓄積)</p> <p>・集合住宅用純水素型システム(500W)も実験段階                      発電効率 約40%HHV/約47%LHV(集中改質による水素製造工程含まず)                      総合効率 約80%HHV/約95%LHV</p> <p>・業務用燃料電池システム(10kW級)実証試験運転(灯油)                      発電効率:33%HHV/36%LHV                      総合効率:75%HHV/81%LHV</p>	<p><b>【定置用システム 普及初期】</b></p> <p>☆発電効率 約33%HHV/約37%LHV                      □耐久性 約6万時間(起動停止、寿命10年)                      &lt;2015年頃&gt;                      △システム価格 約50~70万円/kW                      (10万台/年/社 生産ケース)</p> <p>△システムエンジニアリングによる簡素化                      △補器類や部品の低コスト化・削減、配管等の低コスト材料選定                      △低コスト貯湯システム                      △部分負荷効率向上(改質系、インバーター、補機類)                      △インバータの低DC電圧駆動化                      △システムモジュール化・標準化による量産効果加速</p>	<p><b>【定置用システム 本格普及へ向けた開発】</b></p> <p>☆発電効率 約33%HHV/約37%LHV                      □耐久性 約9万時間                      &lt;2020年頃&gt;                      △システム価格 約40~50万円/kW                      (20万台/年/社 生産ケース)</p> <p>▽多様な燃料への対応                      ▽付加価値付与(自立型、防災対応型等)</p> <p>低コスト化技術                      (システム技術、モジュール化等)、                      スタック技術、運転技術</p>	<p><b>【定置用システム 本格普及期】</b></p> <p>【定置用システム本格普及期目標】                      &lt;2030年頃&gt;                      △システム価格 40万円/kW未満                      □耐久性 9万時間                      ☆発電効率 &gt;36%HHV/40%LHV                      ☆総合効率 &gt;77%HHV/85%LHV                      △☆最高作動温度(約90℃)・低加湿運転</p>	<p>&lt;次世代技術&gt;                      ○●低コスト・高性能・高耐久性システム</p> <p>定置用、自動車用システムの本格普及を実現するための、低コスト・高耐久性・高性能のシステム・材料について、基礎・要素研究が進展中</p>	<p><b>【システムとしての技術課題】(要素技術)</b>                      △▲低コスト化のための抜本的システム簡素化                      △☆高温低加湿(80~90℃程度)運転対応システム                      ▲★高温低加湿(90~100℃程度)運転対応システム                      ▲▲高電流密度化対応システム                      ▽▼低環境温度対応技術                      ▲▲不純物影響低減技術・性能回復技術                      ☆★□■高効率、高信頼性システムに向けた材料開発、その性能のセル・スタックレベルでの実証</p> <p>定置用システム価格 約50~70万円/kW                      自動車用システム製造原価、約100万円に資する要素技術を確立</p>	<p><b>【次世代システム 本格普及に向けた開発】</b></p> <p>定置用                      ☆発電効率 33%HHV/37%LHV以上                      □耐久性 9万時間見通し                      △☆高温(~90℃)、常圧・低加湿運転                      △システム価格 40万円/kW以下の見込み</p> <p>自動車用                      ★発電効率 60%HHV/51%LHVの見込み                      ■耐久性 5000時間見通し                      ▲★高温(~120℃)、大気圧、加湿器レス運転</p>	<p><b>【純水素型システム】(参考)</b></p> <p>水素インフラの整備状況に対応</p> <p>△システム価格 &lt;40万円/kW(集中水素製造含まず)                      □耐久性 9万時間                      ☆発電効率 &gt;46%HHV/55%LHV(集中水素製造含まず)                      &gt;35%HHV/42%LHV(集中水素製造含む)</p>	<p><b>【自動車用システム 普及期】</b></p> <p>★車両効率 60%LHV/51%HHV                      ■耐久性 5000時間(15年)                      ▲★作動温度-30~100℃、30%RH、作動圧力1.2atm、水素ストイキ&lt;1.1</p>	<p><b>【自動車用システム(高压水素搭載)】</b></p> <p>・車両効率 約55~60%LHV/約47~51%HHV                      ・耐久性 約2000時間                      ・低温始動性:-30℃からの始動を実現                      ・航続距離:830km(70MPa)、620km(35MPa)</p> <p>JHFC実証事業実績                      ・公道走行燃費測定試験では、ガソリン等価燃費が20.7km/L(2004年)から、26.7km/L(2007年)へと向上。                      ・車両効率は、シャシダイナモ燃費測定では約50%(2004年)から、約61%(2008年)へ向上。(トッランナー値、10・15モード)                      ・2002年からこれまで約120台が登録・参加し、約60万km走行とデータを着実に蓄積。</p>

注: 効率に関する標記は原則、定格の効率を示す。価格に関するカッコ内の生産数は、計算の仮定のための想定台数であり、市場規模を指すものではない。石油系燃料の発電効率の目標については、天然ガスに比較しやや低い値とする。  
 自動車用システムにおける車両効率については、2007年度より燃費測定モードが、10・15モードからJC08モードへの移行が始まったところであるが、現時点では、両モードの数値換算に関するデータが十分に揃っていないことから、2010年版では10・15モードで表記している。  
 自動車用システムにおける耐久性には、必要とされる運転条件に応じた起動停止回数に対応することも含まれる。

分類	要素	技術の現状	2015年			2020年			2030年		
			システム	<p>【マイクロ・ポータブル用FC(PC, PDA, 携帯電話)】 ポータブル電源用 数W~数百Wレベル (一部DMFC限定販売) 携帯電話用数Wレベル 出力密度(定常的な使用条件) DMFC: 50~70mW/cm<sup>2</sup>(アクティブ型)、50mW/cm<sup>2</sup>(パッシブ型) (PEFC: 200mW/cm<sup>2</sup>)</p> <p>【小型移動体用FC(スクーター、車いす、電動カート等)】 数百W~十数kW レベル開発中 (例) 中・高速移動体(スクーター等の時速6km/h以上の移動体) DMFC最大出力 1.2kW 重量出力密度(システム) 52 W/kg 航続距離 125km 耐久性 1500時間 T to B効率(Tank-to-Battery Efficiency) 32%HHV</p>	<p>ポータブル機器用電源 (DMFC)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー密度(※) &gt;200Wh/L、&gt;150Wh/kg</li> <li>出力密度 &gt;20W/L、&gt;15W/kg</li> <li>耐久性 &gt;1500時間 (≒5時間/1日×300日×1年)</li> </ul>	<p>ポータブル機器用電源 (DMFC)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー密度 &gt;300Wh/L、&gt;200Wh/kg</li> <li>出力密度 &gt;25W/L、&gt;20W/kg</li> <li>耐久性 &gt;5千時間 (≒5時間使用/1日×300日×3年)</li> </ul>	<p>他の電源に対して競争力のある 小型、低コストシステム 実用化・普及</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー密度 &gt;500Wh/L、400Wh/kg</li> <li>出力密度 &gt;50W/L、&gt;40W/kg</li> <li>耐久性 &gt;1万時間</li> </ul>	<p>小型移動体用電源 (DMFC)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>出力密度 &gt;52W/kg</li> <li>システムとして耐久性の向上 &gt;1,500時間</li> <li>航続距離 125km</li> <li>T to B効率 32%HHV</li> </ul>	<p>小型移動体用電源 (DMFC)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>出力密度 &gt;52W/kg</li> <li>システムとして耐久性の向上 &gt;1,500時間</li> <li>航続距離 150km</li> <li>T to B効率 35%HHV</li> </ul>	<p>他の電源に対して競争力のある 小型、低コストシステム 実用化・普及</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>出力密度 &gt;54W/kg</li> <li>システムとして耐久性の向上 &gt;2,500時間</li> <li>航続距離 180km</li> <li>T to B効率 40%HHV</li> </ul>	

注: マイクロ・ポータブル・小型移動体用はDMFCを主体に記述している。マイクロ・ポータブル用における「システム」は国際標準であるIEC TC105 のマイクロ燃料電池における定義に従い、「燃料電池本体、カートリッジ、回路(ハイブリッドシステムの場合は2次電池含む)、インターフェース」とす。小型移動体用における「システム」は「燃料電池本体、燃料タンク、補機、FC制御系」とし、2次電池を含まないこととする。なお、燃料電池には燃料の補給が可能という利点があり、単純にエネルギー密度だけをLi電池と比較することは適当でない点に留意する必要がある。

燃料電池 本体	スタック /セル	<p>&lt;実用段階技術&gt; 【定置用】 ・1kW級スタック商品化(初期導入段階) ・耐久性 4万時間 ・運転温度: 70°C程度 ・加湿(相対湿度): 100%近傍 ・スタック劣化加速試験手法提示</p>	<p>△ 低コスト化技術開発 △ ▽スタックのコンパクト化、簡素化 □ 空気及び燃料中不純物の影響評価 △ ガスケット・シール等材料全般の低コスト化 △ 量産技術開発 □ 耐久性: 6万時間実証</p>	<p>普及期対応スタック △ スタック量産技術確立</p>	<p>定置用本格普及期対応スタック</p>
		<p>&lt;次世代技術&gt; ○●レベル: 材料開発段階。単セル、ショートスタックでの検討中心。 ○●内容: 低白金担持量MEA、高温・低加湿対応MEA等新材料</p>	<p>☆△★▲高温・低加湿対応MEA・スタックの検討 (☆△80~90°C ★▲90~100°C程度、&lt;30%RH) ▽ -40°Cからの起動・停止への対応 ▲▲高電流密度化によるセル数、部材使用量低減</p>	<p>高温低加湿で運転可能な高耐久性スタックの普及期、本格普及期に向けた開発</p> <p>定置用 ☆△高温(~90°C)、常圧・低加湿(&lt;約30%RH)作動 □ 耐久性9万時間確保見込み</p> <p>自動車用 ★▲高温(~120°C)、常圧、加湿器レスで運転可能 ■ 耐久性 5千時間(15年)確保見込み</p>	<p>定置用・自動車用本格普及期には、長期的技術課題解決・反映による更なる高性能、低コスト化スタックが必要</p> <p>自動車用普及期対応スタック</p>
		<p>【自動車用】 ・スタック製造原価 数十万円/kWレベル ・出力密度 &gt;1.4kW/L ・耐久性 約2千時間</p> <p>スタックの軽量化、コンパクト化、高出力化が進展</p> <p>注 出力密度を算出する際のスタック体積には、スタックの締め付け機構まで含め、ケースは含めない。</p>	<p>▲ 低コスト化技術開発 ▲ ▽スタックコンパクト化、簡素化 ■ 高耐久化技術開発、加速評価法開発 ● 空気及び燃料中不純物の影響評価 ● スタック・セルレベル反応メカニズム解明 ▲ ガスケット・シール等材料全般の低コスト化 ▲ 量産技術開発</p> <p>★ 効率(定格の25%負荷) 61%LHV/51%HHV ■ 耐久性: 5千時間(15年) ▲ ▽出力密度 約2kW/L</p>	<p>★▲■▼自動車用 高温(約100°C程度、-40°Cから作動) ガス出口圧力&lt;1.2atm 低加湿運転(&lt;30%RH)による高効率化 利便性向上確保見込み ▲ スタック量産技術確立</p> <p>★ 効率(定格の25%負荷) 64%LHV/54%HHV ▲ スタック製造原価 5~6万円/kW 要素技術開発にて約6万円/kW見込 (50万台/年 ケース) ■ 耐久性 5千時間(15年) ▲ ▽出力密度 2.4kW/L見込み</p>	<p>【自動車用 普及期】 ★ 効率(定格の25%負荷) 64%LHV/54%HHV ▲ スタック製造原価 &lt;5千円/kW(50万台/年 ケース) ■ 耐久性 5千時間(15年) ▼ 出力密度 2.4kW/L ★ ▲高温(約100~120°C)、-40°C起動 ★ ▲加湿器レス・水素循環レス</p> <p>【自動車用 本格商用化目標】 (2030年頃長期課題解決反映) ★ 効率 64%LHV/54%HHV(定格の25%負荷) ▲ スタック製造原価 &lt;2.5千円/kW (50万台/年 ケース) ■ 耐久性 5千時間以上(15年以上) ▼ 出力密度 &gt;2.4kW/L ★ ▲対応温度約-40~120°C(加湿器レス)大気圧</p>
		<p>&lt;基盤的技術課題&gt; ・対象: セル・スタックにおけるガスや水の挙動、電流分布、温度分布 ・手法: 電気化学的手法、可視化セル、中性子ラジオグラフィ、MRI</p>	<p>・実スタック作動状態可視化技術の開発及びそのツール化 ・セル・スタック解析手法、診断技術の高度化 ・実験との比較による・ミュレーション技術の向上とそれをを用いた現象解明 ・標準セル及び標準的試験方法確立</p>		

注: 効率に関する標記は原則、定格の効率を示す。自動車用の「耐久性」には、必要とされる運転条件に応じた起動停止回数に対応すること含まれる。

分類	要素	技術の現状	2015年			2020年			2030年		
燃料電池 本体	MEA/ガス 拡散層	<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <p>○●MEA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料:フッ素系イオン交換膜、同溶液、既存炭素担体材料</li> <li>製造:触媒インク塗工・プレスを用いた量産技術開発</li> </ul> <p>○●劣化対策</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>状況:NEDO実用化戦略的技術開発事業における産官学連携による劣化説明研究等により大きく進展。</li> <li>劣化要因                     <ul style="list-style-type: none"> <li>過酸化水素生成に由来する活性ラジカル種による電解質膜分解</li> <li>貴金属微粒子の溶解・析出・凝集</li> <li>炭素系担体腐食、金属不純物イオンの影響</li> <li>GDL/触媒層等の撥水性低下</li> <li>凍結/解凍サイクルによる触媒層/膜界面の剥離</li> </ul> </li> <li>対策:補強膜や多層構造MEAによる機械的強度・信頼性の向上</li> <li>ラジカルクエンチャー導入による耐久性向上</li> </ul>	<p>MEA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲触媒利用率の向上</li> <li>□■広温度・広湿度範囲での特性と耐久性改善</li> <li>□■各種不純物影響把握</li> <li>☆★構成要素界面における接触抵抗低減</li> <li>☆★構成要素開発による特性向上 (触媒層、拡散層、バインダ、電解質膜等)</li> <li>△▲水管理技術の向上</li> <li>△▲量産技術開発</li> </ul> <p>ガス拡散層</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△▲製造エネルギーの低減</li> <li>□■撥水性維持技術の開発</li> </ul> <p>○●評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構成要素の標準評価手法確立</li> </ul>	<p>高耐久性MEA</p> <p>定置用普及期対応(自動車用は普及初期対応)</p> <p>定置用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□耐久性:9万時間実証</li> <li>△コスト:約5万円/kW (約2万円/kW見込み)</li> </ul> <p>自動車用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■耐久性:5千時間実証</li> <li>▲コスト:約3万円/m<sup>2</sup> (5~6千円/m<sup>2</sup>見込み)</li> </ul>							
		<p>&lt;次世代技術&gt;</p> <p>○●MEA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>MEA内部の物質移動現象説明が必要</li> <li>○●高温・低加湿対応</li> <li>材料:フッ素系及び炭化水素系、有機・無機複合系等</li> <li>劣化:単セルにて数千時間レベルの耐久性</li> <li>○●炭化水素系MEA</li> <li>状況:フッ素系膜同等の単セル-V特性と数千時間の寿命。</li> <li>バインダ:新規材料に適したバインダ開発が不十分</li> <li>炭化水素系電解質の劣化メカニズム未説明</li> </ul>	<p>☆★△▲高温・低加湿作動MEAの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☆△約80~90℃(&lt;30%RH)</li> <li>★▲約90~100℃程度(&lt;30%RH)</li> <li>△▲低白金担持量における触媒利用率向上技術開発</li> <li>△▲高電流密度化</li> <li>△▲炭化水素系膜MEAの高耐久化研究開発</li> <li>□■反応・劣化メカニズムの解明(炭化水素系電解質の劣化メカニズムの解明等)</li> <li>□■加速試験法開発</li> <li>□■電極/GDLの撥水性評価と撥水性喪失対策</li> <li>△▲廃棄製品からの貴金属リサイクル技術開発</li> </ul>	<p>☆★△▲高温・低加湿作動MEA開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□■反応・劣化メカニズム解明成果に基づく高性能・高耐久化</li> <li>□■加速試験法の確立</li> <li>△▲GDLフリー化技術開発</li> <li>△▲廃棄製品からのリユース技術開発</li> </ul> <p>☆△高温・低加湿対応MEA(単セル、~約90℃(&lt;約30%RH))</p> <p>定置用 耐久性:9万時間(起動停止4000回)</p> <p>★▲高温・低加湿対応MEA(単セル、約100~120℃(加湿器レス))</p> <p>自動車用 耐久性:約5千時間(15年)</p> <p>△ 貴金属量低担持触媒使用MEA</p> <p>定置用 貴金属量:&lt;1g-Pt/kW(アノード+カソード両面)</p> <p>耐久性:約9万時間</p> <p>▲ 貴金属量低担持触媒使用MEA</p> <p>自動車用 貴金属量:&lt;0.1g-Pt/kW(アノード+カソード両面)</p> <p>耐久性:約5千時間</p> <p>コストイメージ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△定置用:約5万円/kW (約2万円/kW見込み)</li> <li>▲自動車用:約3万円/m<sup>2</sup> (5~6千円/m<sup>2</sup>見込み)</li> </ul>	<p>高温・低加湿作動対応MEA</p> <p>定置用本格普及期対応</p> <p>自動車用本格商用化対応 (脱白金MEAを含む)</p>						
		<p>&lt;基盤的技術課題&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>対象:MEA構造最適化に向け、水分制御、電池反応による水分収支定量的把握、セル内部水分分布とセル特性との関連</li> <li>手法:電気化学的手法、顕微鏡観察、可視化セル、NMR、ESR、中性子ラジオグラフィ、X線CT、数値シミュレーション等による検討が活発</li> <li>状況:in situ水分分析技術の開発が行われ分解能進歩。シミュレーションも進展しているが活用できるレベルの定量性が課題。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MEA中の物質移動(水分、反応ガス、熱)現象・機構解明</li> <li>in situ 水分可視化技術開発(中性子ラジオグラフィ、MRI、軟X線)</li> <li>実験解析と計算化学の連動による物質移動機構解明</li> <li>触媒利用率の測定手法の開発</li> <li>MEA解析手法の開発・高度化</li> </ul>								

分類	要素	技術の現状	2015年			2020年			2030年		
燃料電池 本体	電解質膜	<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <p>○●フッ素系膜</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>特性: 化学的な安定性、高いプロトン伝導性</li> <li>耐久性: 70°C運転(フル加湿)で4万時間保証</li> <li>コスト: 低コスト化必要(現状=5~7万円/m<sup>2</sup>)</li> <li>電解質膜劣化機構の解明が進展</li> </ul> <p>要因: 化学的劣化 (ガスリーク→過酸化水素の発生→ラジカルの発生→劣化)</p> <p>機械的劣化 (機械的ストレス(クリープも含む)、微小短絡)</p> <p>課題: 過酸化水素の発生箇所、ラジカル発生原因(Ptバンドの状態、湿度等影響)、ラジカル反応箇所など、それぞれの影響因子の解明が必要</p>	<p>フッ素系膜</p> <p>□■劣化要因解析と耐久性向上 (セル・スタックレベル。機械的因子と化学的因子の両方を考慮)</p> <p>□■各種不純物の影響度評価</p> <p>□■耐久性加速試験法の確立</p> <p>△▲低コスト化技術の開発</p> <p>○●その他 メタノール低クロスオーバー低減技術の確立(ナフイオン比1/10)</p>	<p>高耐久性電解質膜 定置用普及期対応 自動車用は普及初期対応)</p> <p>スタックレベル(実使用条件)において 耐久性: □定置用 9万時間           ■自動車用 5千時間 コスト: △▲1~3万円/m<sup>2</sup>(3~5千円/m<sup>2</sup>見込み)</p>							
		<p>&lt;次世代技術&gt;</p> <p>○●フッ素系膜</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料: 自動車用100°C(加湿80°C)、定置用80°C(加湿60~70°C)程度の高湿使用の見込みを持つ膜が開発</li> <li>IEC(交換容量)を高めて低加湿作動に対応</li> <li>50%RH(110°C)で導電率0.1S/cmの超低EW樹脂が開発</li> </ul> <p>○●非フッ素系膜</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料: 伝導性が向上し、低加湿に対応可能な炭化水素系膜開発が進展(高IEC化エンプラ系膜、新規ブロック型構造導入等)</li> <li>特性: 炭化水素系において 導電率=0.01~0.2S/cmレベル(80-150°C)、 単セル動作=数千時間</li> <li>状況: 単セル特性・耐久性向上、低加湿作動特性確認</li> </ul> <p>&lt;長期的技術課題&gt;</p> <p>○●無加湿膜</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>酸塩基複合膜 材料: ポリベンズイミダゾール/リン酸系 状況: 単セル特性向上</li> <li>イオン液体 材料: ジエチルメチルアンモニウムトリフルオロメタンスルホネート等 状況: 単セル発電可能 導電率=0~0.1S/cmレベル(80-150°C)</li> <li>無機固体電解質</li> <li>○●アニオン交換膜</li> <li>状況: 米国で活発化。ヒドラジン燃料電池への適用も検討</li> </ul>	<p>▲△☆☆高温(定置用~90°C(&lt;30%RH) 自動車用~120°C程度)・低加湿運転対応膜およびアイオノマー開発</p> <p>△▲□■高耐久化技術開発(化学的・機械的耐性向上、不純物耐性向上等)</p> <p>□■低温・凍結耐性の向上 -40°C程度の低温域でも作動</p> <p>□■フッ素系電解質膜劣化機構の全容解明</p> <p>□■炭化水素系膜の劣化機構解明と対策</p> <p>□■炭化水素系バインダ(アイオノマー)の開発</p> <p>△▲低コスト化技術開発</p> <p>○●その他 メタノール低クロスオーバー、高伝導率、低コストな電解質膜の開発、製造プロセス検討</p>	<p>△▲格段の低コスト化技術の開発</p> <p>○●普及期対応膜の耐久性確認、実用性把握 (単セルレベル、スタックレベル)</p> <p>☆△定置用 高温(~約90°C)・低加湿(入口&lt;30RH%、常圧)運転対応膜 (&gt;0.1S/cm at 作動温度、作動条件 単セルにて9万時間見通し)</p> <p>★▲自動車用 高温(~120°C(-40°Cから作動))・常圧近傍・加湿器レス 運転対応膜 (&gt;0.1S/cm at 作動温度、作動条件 単セルにて5千時間見通し)</p> <p>コストイメージ △▲1~3万円/m<sup>2</sup>(3~5千円/m<sup>2</sup>見込み)</p>	<p>高温・低加湿対応電解質膜 普及期対応</p> <p>定置用本格普及期(2030年頃)、 自動車用本格商用化(2030年頃) には、長期的技術課題解決・反映による 更なる高性能、低コスト化電解質膜 が必要</p> <p>コストイメージ ▲ 1000円/m<sup>2</sup>(1000万m<sup>2</sup>/年)</p>						
		<p>&lt;基盤的技術課題&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>対象: 導電率、耐久性、不純物効果、熱履歴、物質移動</li> <li>手法: 電気化学的手法、赤外、NMR、顕微鏡観察、数値シミュレーション(分子シミュレーション)等</li> <li>状況: 単セルレベルで現象把握とメカニズム解明活発</li> </ul>	<p>△▲☆☆無加湿膜探索</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>酸塩基複合系、イオン液体系</li> <li>革新的電解質材料探索</li> <li>新伝導機構探索</li> <li>△▲□■不純物耐性技術探索</li> <li>△▲☆☆アニオン交換膜開発</li> <li>○●その他 メタノール不透過性膜等の探索</li> </ul>	<p>無加湿燃料電池など革新型への可能性</p>							
		<p>炭化水素系膜の劣化機構解明および試験・解析手法開発、フッ素系膜劣化機構の完全解明</p> <p>プロトン伝導機構、水分・ガス透過機構解明</p> <p>電解質膜中の水分の分布・移動の解析技術およびシミュレーション技術の確立</p> <p>膜構造解析技術開発</p>									

分類	要素	技術の現状	2015年			2020年			2030年		
燃料電池 本体	電極触媒/ 担体	<p>&lt;実用段階技術&gt;                      ○●貴金属系触媒                      ・材料: 貴金属量=1.0mg/cm<sup>2</sup>以下(アノード+カソード両面)、                      定置用5~8g-Pt/kW、自動車用0.5~1g-Pt/kW                      炭素系担体を使用                      状況: 触媒劣化とその要因は現象論的に把握できてきているが、性能・耐久性の維持のために現状のPt量が必要                      劣化要因: 触媒反応面積低下(原因: Pt溶解・再析出、凝集)、                      触媒活性低下(原因: 合金成分の溶解、不純物被毒)                      カーボン担体の酸化腐食                      ○ 貴金属系触媒(耐COアノード触媒)                      ・状況: CO選択酸化器は必須(CO濃度&lt;10 ppm)</p>	<p>貴金属系触媒                      ▲ 貴金属量の低減                      ・貴金属溶解機構の解明                      □ 耐CO触媒のCO耐性向上とRu溶出等劣化防止                      ▲△□■不純物の影響把握(セル・スタックレベル)                      ▲ 廃棄製品からの低コスト高収率貴金属回収方法の開発                      担体                      □■触媒担体改良による触媒層活性・耐久性向上</p>	<p>貴金属系触媒                      定置用普及期 自動車用普及初期 対応)</p> <p>スタックレベルにて                      耐久性: □定置用 9万時間                      ■自動車用 5千時間                      □反応面積維持率: 定置用 60%(4万時間後)                      貴金属量: (アノード+カソード両面)、                      △定置用 2g-Pt/kW                      ▲自動車用 0.1g-Pt/kW</p>							
		<p>&lt;次世代技術&gt;                      ▲▲貴金属量低減技術                      ・カソード合金触媒                      材料: Pt-Co系、Pt-Fe系、Pt-Ni系等                      特性: Pt-Co系、Pt-Alloy系で耐久性を高める効果                      ・カソードコアシェル触媒                      △ 耐COアノード触媒                      材料: ナノカプセル法Pt-Ru/C、Pt-Ru/CNT、Pt-Ru/酸化スズ、有機錯体系等が研究中                      ▲▲□■触媒担体                      ・材料: CNT、導電性酸化物担体等で耐久性向上</p>	<p>▲▲貴金属量低減技術開発                      Pt使用量 1/10以下を実現する技術開発                      ・カソード合金化、コアシェル化等による質量活性向上                      ・白金溶解の抑制技術開発                      ・触媒利用率の向上(特に高温低加湿条件や大電流密度作動時)                      △高濃度耐CO触媒開発                      ・CO濃度500 ppm 耐性                      □■耐食性触媒担体                      新規触媒担体(導電性酸化物担体、高耐久性炭素担体等)の開発と利用技術                      ☆★▲高温(☆△80~90°C ★▲90~120°C程度)・低加湿運転対応技術                      ▲ 廃棄製品からの貴金属リサイクル技術開発</p>	<p>▲▲貴金属量低減                      ・耐久性、性能(セル・スタックレベル)、コストの同時成立                      ・極微量貴金属担持触媒の量産化技術開発                      △□高濃度耐CO触媒開発                      ・CO濃度耐性500 ppm 以上                      ☆★□■触媒担体                      ・新規触媒担体による特性向上技術とセル・スタックでの耐久性実証                      ▲ 廃棄製品からの触媒リユース技術開発</p> <p>貴金属量: (アノード+カソード両面)、                      △定置用 1g-Pt/kW                      ▲自動車用 &lt;0.1g-Pt/kW</p>	<p>定置用・自動車用普及期対応</p> <p>貴金属量: (アノード+カソード両面)、                      △定置用 1g-Pt/kW                      ▲自動車用 &lt;0.1g-Pt/kW</p>						
		<p>&lt;長期的技術課題&gt;                      ▲▲非貴金属カソード触媒                      ・カーボンアロイ系                      ・遷移金属酸化物系                      ▲▲□■不純物耐性触媒                      状況: ニーズは高いが未開発                      ○●その他革新的高活性触媒                      状況:                      ・過電圧低減による高電位作動化が望まれている                      ・DMFCのコンパクト化には高活性メタノール酸化触媒が必要</p>	<p>▲▲非貴金属カソード触媒                      ・カーボンアロイ系、遷移金属酸化物系                      触媒活性向上 活性点および活性発現機構解明                      ・新規触媒探索                      ▲▲□■不純物耐性触媒 触媒探索                      ○●革新的高活性触媒(酸素還元過電圧低減、メタノール酸化触媒等) 触媒探索</p>	<p>0.6 V@1.0 A/cm<sup>2</sup> 耐久性5000時間 見通し(2015年頃)</p>	<p>非貴金属系触媒への代替</p> <p>定置用本格普及期(2030年頃)、                      自動車用本格商用化(2030年頃)                      には、長期的技術課題解決・反映による                      更なる高性能、低コスト化触媒が必要</p>						
<p>&lt;基盤的技術課題&gt;                      ・対象: 電極触媒の状態解析、電子状態変化、電極表面吸着種等に関する研究                      ・手法: 電気化学的手法、赤外、顕微鏡観察、XPS、STM、XAFS等                      ・状況: 触媒電子状態変化、担持体の触媒表面への影響等を計算で確認。理論計算による反応機構へのアプローチ。活性・耐久性評価手法(1次スクリーニング手法)を統一。</p>	<p>・電極表面反応機構、触媒活性発現機構等に関する基礎基盤的解明研究                      ・白金溶解、触媒状態変化(凝集、表面変化、移動)の機構解明                      ・触媒粒子電子状態の計算精密化と実験的評価による触媒及び担体相互作用解明                      ・実験解析と計算化学の連動による反応機構解明                      ・評価・解析技術の高度化(触媒特性評価、電極反応解析手法)</p>										

分類	要素	技術の現状	2015年			2020年			2030年		
燃料電池 本体	セパレータ	<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <p>○●カーボン樹脂モールドセパレータ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>製造:導電性、寸法精度を満たす製造技術が進展</li> <li>耐久性:&gt;4万時間の見通し取得</li> <li>状況:家庭用システムで商品化</li> <li>要求性能:薄型化、耐振動性能、零下まで含めた耐熱衝撃性、軽量化</li> <li>特徴:金属イオン溶出の心配なく長寿命</li> </ul> <p>○●金属セパレータ(導電性金属析出ステンレス等、クラッド材料、析出物含有SUS、Tiクラッド材+表面処理)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料:耐食性・接触抵抗両立が課題</li> <li>製造:通常量産ラインにてコイル量産技術確立</li> <li>耐久性:単セル燃料電池運転4千時間以上の運転実績(9千時間以上の実験値)</li> <li>特徴:自動車用システムで実用化。量産性、薄肉軽量化を実現、燃料電池の小型化に加え低温起動実現</li> </ul> <p>現状コスト:約数千円/枚</p>	<p>カーボン樹脂モールドセパレータ</p> <p>△▲低コスト化技術開発</p> <p>△▲更なる薄型化と軽量化</p> <p>■自動車用での振動に対するより高い靱性</p> <p>■耐熱性(高温作動~120℃への対応)、耐熱衝撃性向上(-40~120℃)</p> <p>☆★電気抵抗:&lt;10mΩcm(接触抵抗含む)</p> <p>△▲コスト(材料・製造):100~200円</p> <p>▽▼薄型化:&lt;2mm(流路・MEA込みセル厚さ)</p>	<p>低コスト・高耐久性</p> <p>カーボン樹脂モールドセパレータ</p> <p>定置用普及期対応(自動車用普及初期対応)</p> <p>△▲低コスト化技術開発</p> <p>△▲更なる薄型化と軽量化</p> <p>▽▼MEAを補助する機能付加</p>	<p>低コスト・薄型化・大面積</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高付加価値</li> <li>カーボン樹脂モールドセパレータ</li> <li>定置用本格普及期対応</li> <li>自動車用本格商用化対応</li> <li>高温(100~120℃)作動対応</li> </ul> <p>△▲コスト(材料・製造):&lt;100円</p>						
		<p>金属セパレータ</p> <p>△▲低コスト化技術開発</p> <p>□■耐食性向上(金属イオン溶出低減)</p> <p>△▲成形性改善(流路形状改善、薄型化)</p> <p>△▲接触抵抗軽減、大電流密度化</p> <p>☆☆電気抵抗:&lt;10mΩcm(接触抵抗含む)</p> <p>▽▼薄型化:&lt;2mm(流路・MEA込みセル厚さ)</p> <p>△▲コスト(材料・製造):100~200円</p> <p>▲▼薄型化と軽量化(スタック軽量化・小型化)</p>	<p>低コスト・高耐久性</p> <p>金属セパレータ</p> <p>定置用普及期対応(自動車用普及初期対応)</p>	<p>低コスト・高耐久性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>低金属イオン溶出</li> <li>金属セパレータ</li> <li>定置用本格普及期対応</li> <li>自動車用本格商用化対応</li> <li>高温(100~120℃)作動対応</li> </ul> <p>△▲コスト(材料・製造):&lt;100円</p>							
改質器		<p>&lt;実用化段階技術&gt;</p> <p>○改質器(1kW級家庭用燃料電池用)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水蒸気改質(天然ガスLPG) 商用段階</li> <li>改質効率:約80%HHV/75%LHV以上</li> <li>耐久性:4万時間保証 更なる耐久性必要(触媒、筐体)</li> <li>コスト:数十万円(100台/年レベル)</li> </ul> <p>水蒸気改質(灯油)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>改質効率:約77%HHV/70%LHV</li> <li>耐久性:実績値1万時間、更なる検証必要。</li> <li>コスト:数十万円(100台/年レベル)</li> </ul> <p>コスト(全般):貴金属使用量(10数g/kW)、運転領域に関する制約、NOx, SOx, NaCl等不純物による劣化等がコスト低減の障害</p>	<p>○改質器</p> <p>△□改質器耐久性の向上(熱サイクル、触媒及び筐体の機械的耐久性含む)</p> <p>□▽立ち上げ時間短縮と熱サイクル耐久性向上</p> <p>△ 貴金属触媒の低減</p> <p>△ 安価な改質管材料データベース構築</p> <p>△ 高性能・コンパクトで安価な脱硫剤・脱硫システム</p> <p>□耐久性:起動停止への対応の上10年間(CO濃度&lt;10ppm)</p>	<p>貴金属低減・高耐久性改質器</p> <p>定置用普及期対応</p>	<p>低コスト・高耐久性(不純物,DSS)</p> <p>定置用本格普及期対応</p>						
		<p>&lt;次世代技術&gt;</p> <p>○改質器(1kW級家庭用燃料電池用)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>利便性:運転領域拡大、不純物影響、耐久性に関する検討必要</li> <li>燃料:マルチ燃料型(天然ガス、灯油、LPG)改質器も開発中</li> <li>方式:水蒸気改質法、ATR法等も検討</li> </ul> <p>CO変成触媒開発:Cu-Zn系触媒で高い低温活性</p> <p>選択メタン化触媒開発進展:90℃以上でCO濃度500ppm、メタン化1%以下</p>	<p>改質器</p> <p>□△、高耐久性CO変成触媒開発</p> <p>低コスト卑金属触媒開発(1万円以下/kW)</p> <p>□熱サイクルに耐える構造の開発</p> <p>☆△CO選択メタン化触媒開発(広い条件下でCO濃度500ppm以下。熱暴走の抑制可能な触媒)</p>	<p>改質器</p> <p>□改質器の耐久性確保</p> <p>□不純物に対する長期耐久性向上</p> <p>△低コスト化技術開発、量産化技術開発</p> <p>▽DME等他燃料への対応技術開発(天然ガス改質と同等の技術レベル)</p>	<p>実用化段階技術、次世代技術</p> <p>長期的技術の成果を踏まえて更なるコスト低減、耐久性向上</p> <p>△コスト &lt;10万円</p>						

< 共通的・基盤的課題(標準化) >

分類	要素	技術の現状	課題
標準規格基準		<p>・標準化活動の推進等により、7件のIEC規格(技術仕様書)が発行</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①燃料電池用語 IEC TS 62282-1</li> <li>②燃料電池モジュール IEC62282-2</li> <li>③定置用燃料電池システム-安全要件 IEC62282-3-1</li> <li>④定置用燃料電池システム-性能試験法 IEC 2282-3-2</li> <li>⑤定置用燃料電池システム-設置要件 IEC62282-3-3</li> <li>⑥ポータブル燃料電池システム-安全要件 IEC62282-5-1</li> <li>⑦マイクロ燃料電池-性能試験法 IEC62282-6-200</li> </ol> <p>・マイクロ(携帯用)燃料電池の安全要件及び互換性について規格発行</p> <p>・単セル試験法は2010年に技術仕様書(TS)として発行予定</p> <p>・フォークリフトなど特殊車両(Speciality Vehicle)についても規格化検討</p> <p>・国内標準ではPEFCの安全基準など8件のJIS規格が発行</p> <p>・FCVについてはISO 23273(FCVの安全)、ISO 23828(FCVの燃費測定法)、ISO/TS 14687-2(FCV用酸素燃料仕様)が発行</p>	<p>&lt;標準・規格&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・PEFCに関する標準・規格・規制・認証の整備に向けた国際的・国内的取り組み</li> <li>・PEFC関連材料開発や標準化等に資する標準セル及び標準的試験方法の確立・維持、及び、共通的評価手法の提供による新材料開発の促進</li> <li>・単セル評価のための標準セルの提案及び公平な評価のための単セル作成方法の統一</li> <li>・劣化解析・新規材料開発に資する標準的試験方法及び簡便評価手法の確立</li> <li>・安全規格策定、燃費測定法や燃料性状の標準化等。</li> <li>・安全性や性能に関する裏付けデータを機動的に取得できる体制や規格作成に精通する専門家を作成メンバーに含める等の体制整備</li> </ul> <p>【留意点】短期的に強力な取り組みが求められるものもあるが、中期的・長期的にもその時の技術開発・実用化段階に合わせて取り組みの向上が求められる基盤と考えられる。従って、政策動向、要素技術及びシステム技術の研究開発と連携を取りながら継続的に取り組みを進めることが必要。もちろん、定期的な評価によって方向付けを行うことが不可欠。必要に応じ、新規な測定技術の開発も必要になると考えられる。</p>

# SOFCロードマップ詳細版

○:一般、☆効率、□:耐久性、△:コスト、▽:利便性

SOFC-1

分類	要素	技術の現状	課題と目標		
			2015年	2020年	2030年
システム	定置用	<p>&lt;小容量定置用システム(家庭用コージェネ)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・状況:中温型(作動温度700°C~800°C)</li> <li>・材料レベルで大きく進展し、セル・スタック検証進行中</li> <li>・実証システムレベルの性能及び耐久性の検証進行中</li> <li>・灯油・LPGを燃料としたシステムが実証研究の段階</li> <li>・システム価格:約900万円/kW</li> <li>・スタック出力密度:0.1~0.2kW/L</li> <li>・耐久性:2万時間以上の運転実績/運転時間4万時間(5年程度)の見通し</li> <li>・システム効率: <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム発電効率 40%HHV/45%LHV</li> <li>・システム総合効率 75%HHV/82%LHV</li> </ul> </li> </ul>	<p>小容量定置用システムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▽起動停止特性、負荷追従性の向上</li> <li>☆部分負荷運転制御性の向上</li> <li>△低コスト化</li> <li>△コンパクト化</li> <li>○システム評価手法の確立</li> <li>△メンテナンス方法の確立</li> </ul> <p>△更なる低コスト化(スタック本体、周辺機器)</p> <p>□長寿命化</p>	<p>小容量定置用システムの初期導入(1kW~数kW)</p> <p>(都市ガスにおける目標)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△システム価格 50~100万円/kW</li> <li>△スタック価格 20万円/kW(生産ケース数十MW/年レベル)</li> <li>△スタック出力密度 0.2kW/L</li> <li>☆システム発電効率 &gt;40%HHV/45%LHV</li> <li>☆システム総合効率 &gt;75%HHV/82%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間4万時間以上(5年以上)の見通し</li> <li>○負荷追従性、低負荷運転特性が良好であること</li> </ul>	<p>小容量定置用システムの普及(1kW~数kW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☆▽高発電効率かつ利便性の高い小型システム</li> <li>△システム価格 &lt;40万円/kW</li> <li>△スタック価格 5万円/kW</li> <li>△スタック出力密度 0.4~1kW/L</li> <li>☆システム発電効率 &gt;50%HHV/55%LHV</li> <li>☆システム総合効率 &gt;80%HHV/89%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul>
		<p>&lt;中容量定置用システム(業務用コージェネ)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・状況:高温型(作動温度900~1000°C)及び中温型(同700~800°C)を利用</li> <li>・システム価格 数百万円~1,000万円/kW</li> <li>・スタック出力密度 &lt;0.1kW/L</li> <li>・耐久性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・海外では、EVD法円筒織形セルでは7万時間運転の実績</li> <li>・低コスト製造法によるセルでも長期安定性が期待されており、実証が必要</li> <li>・3,000時間以上の運転実績</li> </ul> </li> <li>・システム効率: <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム発電効率 40%HHV/45%LHV</li> <li>・システム総合効率 80%HHV/89%LHV</li> </ul> </li> <li>・設置面積当たり容量:5kW/m<sup>2</sup>レベル</li> </ul>	<p>中容量定置用システムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▽起動停止特性、負荷追従性の向上</li> <li>☆部分負荷運転制御性の向上</li> <li>□電気・熱出力最適化と運用効率向上</li> <li>△低コスト化</li> <li>△コンパクト化</li> <li>○システム評価手法の確立</li> <li>△メンテナンス方法の確立</li> </ul> <p>△更なる低コスト化、コンパクト化、□長寿命化</p> <p>▽石油系燃料、バイオガス等の燃料多様化への見通し</p> <p>☆□△▽システム検証と材料開発への反映</p>	<p>中容量定置用システムの初期導入(数~数百kW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△システム価格 約100万円/kW</li> <li>△スタック価格 30万円/kW(生産ケース 数MW/年レベル)</li> <li>△スタック出力密度 0.2~0.5kW/L</li> <li>○設置面積当たり容量 &gt;5~13kW/m<sup>2</sup></li> <li>☆システム発電効率 &gt;40%HHV/45%LHV</li> <li>☆システム総合効率 80%HHV/89%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間4万時間(5年程度)の見通し</li> </ul> <p>○負荷追従運転可、低負荷運転特性が良好</p>	<p>中容量定置用システムの普及(数~数百kW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△システム価格 &lt;20万円/kW(生産ケース 150MW/年レベル)</li> <li>△スタック価格 5万円/kW</li> <li>△スタック出力密度 0.5~2kW/L</li> <li>○設置面積当たり容量 &gt;13kW/m<sup>2</sup>(PAFCと同レベル)</li> <li>☆システム発電効率 &gt;50%HHV/55%LHV</li> <li>☆システム総合効率 &gt;80%HHV/89%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul>
		<p>&lt;中容量ハイブリッドシステム&gt;</p> <p>高温型スタック高効率システム(SOFC+MGTハイブリッド、数百kW~数MW規模)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・状況:システムの検証と技術の蓄積に着手している段階</li> <li>・今後商用システムの構築が必要。</li> <li>・システム発電効率:48%HHV/52%LHV(200kW級システム)</li> <li>・耐久性3000時間運転実績(200kW級システム)</li> </ul>	<p>中容量ハイブリッドシステムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☆△▽低コスト、コンパクト化のための出力密度向上</li> <li>☆ガスタービンとのハイブリッド技術のシステム化・制御技術・実証</li> <li>□燃料多様化</li> <li>□▽不純物耐久性の把握、対策</li> <li>□高圧力下での劣化挙動解析</li> <li>☆高温排熱の高度利用</li> </ul> <p>□単セル容量の向上によるシステムの簡素化と信頼性向上</p>	<p>中容量ハイブリッドシステムの初期導入(数百kW~数MW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△スタック出力密度 0.1~0.5kW/L</li> <li>○設置面積当たり容量 5~13kW/m<sup>2</sup></li> <li>☆システム発電効率 &gt;50%HHV/55%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間4万時間(5年程度)の見通し</li> </ul>	<p>中容量ハイブリッドシステムの普及(数百kW~数MW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△システム価格 &lt;15万円/kW(生産ケース 200MW/年レベル)</li> <li>△スタック価格 5万円/kW</li> <li>△スタック出力密度 0.5~2kW/L</li> <li>○設置面積当たり容量 &gt;13kW/m<sup>2</sup>(PAFCと同レベル)</li> <li>☆システム発電効率 &gt;55%HHV/60%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul> <p>☆石油系燃料、石炭ガス化ガス等、多様な燃料の利用への見通し</p>
		<p>&lt;大容量コンバインド※(発電用)&gt;</p> <p>高温型スタック高効率システム(SOFC+GT+STトリプルコンバインド、数MW~数100MW規模)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・LNG(天然ガス)用</li> <li>・石炭ガス化ガス用(LNGに比べ効率はやや低い)</li> <li>・米国では石炭を用いた大型システムにも重点(FutureGen Coal RoadMap)</li> <li>・システムの大型化には未着手</li> </ul> <p>※:中容量の「ハイブリッド」と大容量の「コンバインド」は基本的に同じシステムを指しているが、本ロードマップでは、これまでの呼称を考慮し、中容量と大容量で表現を使い分けるものとした(コージェネでは「ハイブリッド」、電力事業者側は「コンバインド」の表現が一般的)</p>	<p>大容量コンバインドシステムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☆△▽低コスト、コンパクト化のための出力密度向上</li> <li>☆▽高圧力稼働用スタック検証、高圧力運転技術、複合発電システムの制御技術(SOFCとGTの動的依存性の把握、起動停止、負荷変動制御、負荷追従方法)</li> <li>□▽燃料内不純物対応技術の開発</li> <li>☆高温排熱の高度利用</li> <li>□高圧力化での特性・耐久性確認(セル・スタック)</li> <li>☆□▽SOFCモジュール集積技術の確立</li> <li>▽メンテナンス性向上のためのシステムの最適化・検証</li> <li>▽□LNG、石炭ガス化ガス、重油などの適用性の検証(燃料内不純物対応技術開発)</li> <li>▽大容量システムにおける、最適容量の検討と反映</li> <li>□単セル容量の向上によるシステムの簡素化と信頼性向上</li> </ul>	<p>大容量コンバインドシステムの初期導入(既設LNGC/C発電設備へのSOFC部分トッピングによるリパワリングとしての初期導入からスタート:数MW以上)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△システム価格 数10~約100万円/kW</li> <li>△スタック価格 5万円/kW</li> <li>△スタック出力密度 0.5~2kW/L</li> <li>☆システム発電効率 &gt;60%HHV/65%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul> <p>☆石油系燃料、石炭ガス化ガス等、多様な燃料の利用への見通し</p> <p>○☆▽石炭ガス化燃料電池コンバインド発電システム(IGFC)への適用</p>	<p>大容量コンバインドシステムの普及(数百kW~数MW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△システム価格 &lt;15万円/kW(生産ケース 200MW/年レベル)</li> <li>△スタック価格 5万円/kW</li> <li>△スタック出力密度 0.5~2kW/L</li> <li>☆システム発電効率 &gt;65%HHV/70%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul> <p>☆石油系燃料、石炭ガス化ガス等、多様な燃料の利用への見通し</p> <p>○☆▽IGFC部分トッピング IGFC初期導入</p> <p>△システム価格 数10万円/kW~</p> <p>☆システム発電効率 &gt;55%HHV/60%LHV</p> <p>□耐久性 運転時間4万時間(5年程度)の見通し</p>

SOFC開発の特徴:スタック構造と材料、プロセスと密接に関連しているため、スタック開発者が材料開発からスタック開発まで行う、垂直統合化された体制で行われることが多い。スタック開発が開発全体を律していることが多い。

分類	要素	技術の現状	課題と目標			
			2015年	2020年	2030年	
移動体・携帯用		○携帯用小型システム 低温作動化材料、小型スタック構造の研究 システム検証に着手する段階 スタック発電性能: 40W@700°C 耐久性 5,000時間	携帯用小型システムの課題 【携帯用】 ☆燃料直接利用システム ▽利便性の向上 ▽液体燃料導入法の検討 ☆断熱性の向上 ▽排ガス放出法の確立 ☆DME液体燃料の使用 ▽スタックの小型軽量化 ▽起動停止対応セル素材、高断熱素材の開発 ▽起動時間短縮方法の検討 ▽耐衝撃構造の検討	小型(0.1~5kW) △スタック価格 50万円/kW ☆システム発電効率 >20%HHV/22%LHV □耐久性 1~5年、実働時間1,000~5,000時間 起動停止回数 1,000~2,000回		
		<移動体用> ○自動車搭載補助電源(APU)(米独で開発) 電気自動車の航続距離延長用電源への期待 鉄道用、船舶用、飛行機用補助電源への期待 トラック用駆動電源としての検討開始(米) 国内でもAPU向けのモジュール開発を実施 主として海外において小型スタック・システム、頻繁な起動停止、液体燃料導入法の検討 金属支持形低温スタックの検討	各種補助電源の課題 ▽指定された液体燃料への適用性(ガソリン、軽油など)検討 △低コスト化策の検討 ▽起動停止に優れた耐久性を示すスタック構造の検討、改良 ▽小型軽量化 ▽耐振動性の検討 ▽金属支持形低温スタックの検討 ☆システムの高効率化	内燃機関自動車・トラック用補助電源の初期導入 【車載自動車用発電機(オルタネータ)代替】 (数百W~数kW) □耐久性 10年 実働時間 5,000時間 【専用エンジン発電機代替(鮮魚運搬用トラック・冷凍トラック・冷凍コンテナなど)】 (数kW~数十kW) □耐久性 10年 実働時間 数万時間 ☆液体燃料の使用 ○▽電気自動車の航続距離延長用電源としての実証	内燃機関自動車・トラック用補助電源の普及 電気自動車用電源の初期導入 【電気自動車用発電機(航続距離延長用) (コミュータ用5kW、中・長距離用10kW~20kW) □耐久性 10年 実働時間 5,000時間	電気自動車用電源の普及
システム関連技術		<システム評価・共通技術> ・状況: 統一的なセル・スタック・システム評価技術の検討中 スタックの劣化現象の解明として耐久性・信頼性向上に関する研究開発が進行中 ・規格・標準化技術 効率の測定法の研究開発が進んでいる	○スタック・システム評価技術の確立・標準化 ○スタック・システム評価技術の検討 コジェネシステム用、コンバインドシステム用など			

分類	要素	技術の現状	課題と目標			
			2015年	2020年	2030年	
燃料電池 本体	モジュール /スタック /セル	<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・製造:湿式焼結法はほぼ確立 押し出し成形&amp;スクリーン印刷・湿式法による低コスト技術開発</li> <li>・セル形式:円筒形(EVD法,湿式法)、MOLB形、平板形、円筒平板形</li> <li>・出力密度 体積出力密度:平板形で約0.2kW/Lレベル (海外では0.5kW/Lを実現)</li> <li>面積出力密度:0.1~0.35W/cm<sup>2</sup>程度</li> <li>・耐久性:海外ではEVD法YSZ円筒形セルで7万時間、システムで3万時間以上の耐久性実証 国内では低コスト製造方法・構造セルで2万時間以上 電圧低下率0.5~1.7%/1000h</li> <li>・材料:電解質材料、電極材料、インタコネクタ材料との適合性 安定性の検討が必要な状況</li> <li>・状況:劣化現象の把握が進められている</li> </ul>	<p>初期導入システム用スタック開発 (低コスト・高耐久性)</p> <p>☆△▽更なる低コスト・高出力密度化 □4万時間の耐久性見通しの確保 ○熱応力解析手法の確立 ○セル・スタックレベルでの温度や電流分布を 求める発電特性 や熱応力を求める解析手法 の確立 ○統一した評価方法の確立 ○システム実証による運転特性把握 □各種運転モード・内部短絡などに起因する 劣化現象の把握</p> <p>実用段階セル・スタックの 耐久性・信頼性向上</p>	<p>中小容量(家庭・業務用等) 普及システム用スタック (要求性能は小容量・中容量 定置用システムの項参照)</p>		
		<p>&lt;次世代技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・出力密度 体積出力密度:平板形で0.5kW/Lレベル (海外では0.5kW/Lを実現)</li> <li>面積出力密度:0.3~1.3W/cm<sup>2</sup></li> <li>・耐久性:中温型での確認は1万時間未満 電圧低下率0.1~0.25%/1000h</li> <li>・状況: 効率向上、コスト低下などに資する有望な材料の探索・開発中 劣化現象に適切に対処するための共通基盤の構築が進行中 各種のセル形式と材料構成でセル及びスタックレベルの検証中 一部で小型システム化が進展(高集積セル、ハニカム形が開発 中、海外では金属サポート形やMEMS技術を用いたセルの研究 も行われている)</li> <li>○高温型 低コスト化には出力密度の格段の向上によるコンパクト化が 必要 中大容量システム用スタックについては、スタック構造の最適化 に関する検討が進められている</li> </ul>	<p>□耐久性の向上 △□スタック材料、構造の改良による 更なるコスト削減、信頼性向上</p> <p>初期導入システム用 スタック開発 (低コスト・高耐久性)</p> <p>△☆▽高出力密度化、信頼 性と低コスト化の同時達成 △コンパクト化 ○システムの開発・実証 □劣化機構解明、耐久性加 速 試験法確立 □△▽セル・スタックレベル での温度や電流分布を 求める発電特性や、熱応力・反応解 析手法の確立 高圧力下特性評価法の確立</p>	<p>中小容量(家庭・業務用等) 普及システム用スタック (要求性能は小容量・中容量 定置用システムの項参照)</p> <p>中容量等システム 初期導入用スタック (低コスト・高耐久性・コンパクト)</p>		中大容量システム 用スタック
		<p>&lt;長期的技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○低温型SOFC</li> <li>・低温化:550~700℃温度領域で稼働するSOFCの開発・検証が進 められている</li> <li>・金属支持スタックの開発が始まった。</li> <li>○中高温型</li> <li>・新規スタック構造の開発</li> </ul>	<p>☆△新規材料開発及びセル・スタック稼働温度 低温化への適用検討 (新規電解質開発、電極の低温での活性化)</p> <p>☆△新規製造プロセスの開発 (不活性ガス中での焼結法、低コスト製膜法)</p> <p>☆△新規スタックデザインの開発 (金属支持セル、コンパクト化、セル間接続技術)</p> <p>☆△薄膜化セルの耐久性の検討</p>	<p>▽起動時間の短縮 耐熱サイクル特性の改良 軽量化 ▽燃料導入法の簡便化 ☆△システム構成の簡略化</p> <p>☆△新規プロセスの検証、新規スタック構造の検証 ▽燃料導入法の革新と新規開発燃料極材料の検証</p>		

分類	要素	技術の現状	課題と目標		
			2015年	2020年	2030年
燃料電池 本体	電解質	<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料: イットリア安定化ジルコニア系電解質 (YSZ) はかなり成熟ランタンガレート系、Sc安定化ジルコニア系 (ScSZ) は、中温用を中心に実績</li> <li>出力密度: YSZの薄膜化技術と高活性空気極の使用による高出力・低温化の実績</li> <li>製膜技術: 国内ではほとんどが湿式焼結法を採用海外では電着法なども検討されている</li> </ul>	<p>原料の低コスト化及び不純物制御</p> <p>初期導入システム用 (低コスト)</p> <p>△中温型用電解質に用いられるガリウム及びビスマジウムの資源量・コストに関する評価</p> <p>□中温型用電解質の強度・他部材との反応・薄膜化に起因する劣化要因の検討</p>	<p>普及システム用 (低コスト・高耐久性)</p>	
		<p>&lt;次世代技術&gt;</p> <p>○中温型</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料: 新規電解質の探索が活発</li> <li>新プロトン伝導体などの新規電解質</li> <li>新規酸化物伝導体の開発</li> <li>伝導特性と安定性の相関性解明</li> </ul> <p>○高温型</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料: 高出力化に適した電解質及び製造方法の開発が進められている</li> </ul>	<p>中温型</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△▽低温化のための電解質開発</li> <li>☆△□低温用電解質の基礎物性研究</li> <li>△□新規材料開発と安定性の向上</li> <li>○電解質薄膜化技術</li> </ul> <p>高温型 (ハイブリッド・コンパインド)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☆△▽高出力化に適した電解質及び製造方法確立</li> </ul> <p>新規材料を用いたスタックの検証へ</p>	<p>初期導入システム用 (大容量コンパインド) (高出力密度)</p>	
	電極材料 (空気極)	<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料: LaSrMn酸化物 (高温型) やLaSrCoFe酸化物とセリア中間層やSmSrCo酸化物 (中温型) などが利用されている</li> <li>耐久性: 電極が酸化還元を受けた際の構造破壊の対策の必要性周辺部材との固相反応による劣化、不純物による劣化の検討</li> <li>性能: 既存電極改良による性能達成点見極め材料変更による性能、コスト、安定性等への効果の体系的整理が必要</li> </ul>	<p>初期導入システム用 (低コスト・高耐久性・高信頼性)</p> <p>△低コスト化が見込める電極材料のセルへの適用</p> <p>☆▽高出力密度化</p> <p>△▽作動温度低温化</p> <p>□電極の酸化還元による破壊の対策検討</p>	<p>普及システム用 (低コスト・高耐久性)</p>	
		<p>&lt;次世代技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料: 低コスト材料、高出力密度化を実現できる材料の開発が進められている</li> <li>低コスト電極材料としての粗製軽歩土類の使用については、品質管理の問題で大きな進展なし</li> <li>LaNi酸化物系材料など</li> <li>耐久性: 大気中の不純物の影響の解明が必要</li> </ul>	<p>△定置用以外への適用拡大材料の開発</p> <p>△▽作動温度低温化への材料開発</p>	<p>△□低コスト化と低温作動化などの両立性の検証</p>	
	電極材料 (燃料極)	<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料: Ni/YSZ系酸化物については実績</li> <li>Ni-セリア系、Ni-ScSZ系サーメットも使用されている</li> <li>サーメット電極の酸化物の違いによる性能向上、コスト、安定性等への効果の体系的整理が必要</li> <li>耐久性: ニッケルの焼結による劣化の対策検討</li> <li>電極が酸化還元を受けた際の構造破壊の対策の必要性周辺部材との固相反応による劣化、不純物による劣化の検討</li> <li>性能: 既存電極改良による性能達成点見極め材料変更による性能、コスト、安定性等への効果の体系的整理が必要</li> </ul>	<p>初期導入システム用 (低コスト・高耐久性・高信頼性)</p> <p>△低コスト化が見込める電極材料のセルへの適用</p> <p>☆▽高出力密度化</p> <p>△▽作動温度低温化</p> <p>□▽炭素析出を抑制できる燃料極材料の開発</p> <p>□▽耐被毒燃料極の開発</p> <p>□△▽耐レドックス特性の向上</p> <p>□電極の酸化還元による破壊の対策検討</p>	<p>普及システム用 (低コスト・高耐久性・燃料多様化)</p>	
		<p>&lt;次世代技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料: 酸化物燃料極は耐硫黄、耐炭素析出用として注目される</li> <li>耐久性: 硫黄・ハロゲン等不純物による被毒把握は基礎レベル</li> <li>不純物被毒現象、耐レドックス特性の解明が必要 (但し燃料からの脱硫技術は天然ガス、LPGなどでは既に確立)</li> <li>燃料多様化対応: 炭素析出を抑制する燃料極の材料研究開発が活発化、燃料としては、天然ガス、LPG、ガソリン、灯油、DME、エタノールを想定</li> </ul>	<p>△定置用以外への適用拡大材料の開発</p> <p>△▽作動温度低温化への材料開発</p> <p>□▽耐炭素析出、耐硫黄被毒酸化物など電極の開発</p>	<p>△□低コスト化と低温作動化などの両立性の検証</p> <p>△□低コストと耐性との両立の検証</p>	

分類	要素	技術の現状	課題と目標		
			2015年	2020年	2030年
燃料電池本体	インターコネクト	<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <p>○高温型</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料:ランタンクオモライト等酸化物の製造技術成熟度は高い</li> <li>SrTi系の高導電率化も取り組まれている</li> <li>湿式焼結法で製造したインターコネクトの耐久性・信頼性向上が進んでいる</li> <li>金属と伝導性酸化物の組み合わせによる接続構造の最適化製造技術:他の構成材料との共焼結法の確立、ガス炉焼成法の確立へ向けた研究開発中</li> <li>○中低温型(金属インターコネクト材)</li> <li>材料:フェライト系ステンレス等金属インターコネクト材など</li> <li>耐久性:インターコネクト材合金と空気、燃料・水蒸気との反応によるスケール生成現象の解明とその対応策が検討中</li> <li>酸化による導電率低下、浸炭による劣化、インターコネクト由来のCrによる被毒等の劣化対策が進行中、シール材との反応性の検討が必要</li> <li>金属と導電性酸化物の組み合わせによる接続構造の最適化</li> <li>コーティング技術:伝導性酸化物の選定、製膜法の選定</li> </ul>	<p>初期導入システム用 (高信頼性・高耐久性)</p>	<p>普及システム用 (低コスト・高耐久性・高信頼性)</p>	
		<p>&lt;次世代技術&gt;</p> <p>フェライト系ステンレスを中心に種々の金属インターコネクト材が試験対象</p>	<p>□△新たな金属系インターコネクト材の開発</p>		
		<p>&lt;長期的技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>新規酸化物インターコネクトの開発</li> <li>低温スタック用インターコネクト材の検討が必要</li> <li>低温金属支持セルの設計、材料選択、製造法の検討</li> </ul>	<p>△新規酸化物インターコネクト材の開発</p> <p>△低温金属支持セルの設計、材料選択、製造法の検討</p> <p>△新規酸化物インターコネクト材の検証</p> <p>△低温金属支持セルスタックでの検証</p>		
燃料		<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>状況:都市ガス、LPG、灯油を使用</li> <li>急速な起動停止への対応が課題</li> <li>天然ガス付臭剤除去、灯油脱硫技術は既に進展</li> <li>都市ガス、LPG、灯油などの改質器を備えた燃料供給SOFCの実証</li> </ul>	<p>初期導入システム用 高信頼性燃料改質発電システム</p>	<p>普及システム用 (高耐久性・燃料多様化)</p>	
		<p>&lt;次世代技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>検討対象:ガソリン、軽油、DME、エタノール、石炭系ガス(石炭ガス化ガス、COGなど)、バイオガス</li> <li>燃料種の耐硫黄特性でシステム構成が異なる</li> <li>耐久性:硫黄被毒試験はセルレベル(高温ほど可逆的に回復)</li> <li>スタック作動温度を考慮した総合的対策は今後の課題</li> <li>硫黄系に対する被毒特性の把握</li> <li>燃料直接利用技術の検討</li> <li>低温改質技術の開発</li> </ul>	<p>□燃料内不純物対応技術開発(硫黄系、ハロゲン系等)</p> <p>○セル・スタックレベル検証</p> <p>□都市ガスや石油系燃料、バイオガス、石炭ガス化ガスの直接利用を 目指して、燃料中の不純物に対する耐久性の確保</p> <p>□作動温度を考慮した総合的硫黄被毒対策</p> <p>□都市ガス、GTL、DMEの直接利用技術の開発</p> <p>□耐硫黄性燃料極の開発</p> <p>□排ガス処理によるCO濃度の低減</p> <p>☆□△▽石炭ガス化ガスへの適応性の検討</p>		
		<p>&lt;長期的技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>燃料直接導入:基礎研究レベルの検討実施中</li> <li>炭酸ガス回収システム</li> </ul>	<p>▽炭酸ガス分離回収法の検討・最適化</p> <p>□炭酸ガス分離回収技術の検証</p>		
周辺機器		<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <p>○周辺機器(高性能断熱材、その他周辺技術)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>その他周辺技術:ブロー、コンプレッサー、ポンプ、パワーエレクトロニクス等</li> <li>地絡、短絡対策、トラブル時のシステム保護の必要性</li> <li>コスト:システムにおける周辺機器のコスト割合大</li> <li>状況:周辺機器、周辺部材の最適化は今後の課題</li> </ul>	<p>初期導入システム用 (高信頼性・高耐久性・低コスト・メンテナンス性)</p>		

# ＜共通の・基盤的課題＞

○：一般、☆効率、□：耐久性、△：コスト、▽：利便性

SOFC-6

分類	要素	技術の現状	課題と目標			
			2015年	2020年	2030年	
基盤的 テーマ	劣化説明	<p>＜基盤的技術＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小容量システムについては、耐久性・信頼性等が市場導入レベルに近づきつつあるが、中・大容量システムについては、依然、重要な課題となっている。また、海外では基礎分野の研究において研究機関と企業の連携が強化され、研究開発が推進されている。従って、劣化機構説明などの耐久性・信頼性向上のための基礎研究を産学官等の固体酸化物形燃料電池関連の研究開発者が協力して戦略的に取り組み、基盤技術を確立することが継続的に必要。</li> </ul>	<p>・熱力学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立 熱力学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。</p> <p>・化学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立 化学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。</p> <p>・機械的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立 機械的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。</p> <p>・三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け 三相界面の微細構造の測定技術を確立し、微細構造の経時変化を明らかにする。さらに、性能劣化と微細構造変化の相関付けを行う。</p> <p>・耐久性評価手法の確立 劣化要因分析技術とユーザーが容易に余寿命を評価できるような余寿命式を確立する。</p>			
	シミュレーション・評価	<p>＜基盤的技術＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム特性：使用環境・運転条件・システム・スタック・構成材料が相互に影響を及ぼし合うことが理解されつつある。</li> <li>・システム検討：オンサイト発電、コージェネ、高効率ハイブリッドシステム、自動車用小型電源、航空機用補助電源等の種々のSOFC適用分野に関してシミュレーション進行中</li> </ul>	<p>・多種多様な使用環境・運転条件における実用システムのシミュレーションと評価</p> <p>・実証試験情報の共有と技術開発への反映、部材開発への反映</p> <p>・基礎研究成果に対するシステム、スタックの観点を含めた評価 (実用システムに適用されるレベルのもの)</p>			
	モジュール / スタック / セル	<p>＜基盤的技術＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・特性把握：スタックレベルの系統的な研究は少数</li> <li>・理論的検討：構成材料界面、細孔での反応・物質移動検討活性化</li> <li>物質・熱・電気の流れに関するモデリングがセル・スタック・モジュール各レベルで重要</li> <li>・解析技術：In situ解析技術(電気化学的方法、X線応力解析)とモデル電極による解析技術の適用が進行中</li> </ul>	<p>・セル・スタックレベルでの標準的試験方法の確立</p> <p>・単セルレベルとスタックレベルでの特性の差異に関する検討</p> <p>・セル・スタックにおける反応・物質移動と熱エネルギー移送の実験的・理論的把握</p> <p>・セル・スタックでの反応・物質移動の解析・評価技術の開発</p>			
	標準	<p>＜基盤的技術＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現行の改質型PEFCでのJIS試験法をベースに、国際標準との整合化も見据えてSOFCの性能試験法標準化に資する検討を行い、実機試験検証を通じて今後の国内外標準の改善に資する知見や実機データを蓄積。</li> </ul>	<p>＜試験項目＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・点火、燃焼試験</li> <li>・排ガス測定試験</li> <li>・負荷変動、負荷追従特性試験</li> <li>・耐風、耐雨試験 等</li> </ul>			
	規制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気事業法関連の規制見直し</li> <li>・常時監視の不要化</li> <li>・不活性ガスパージ省略</li> <li>・一般用電気工作物化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・消防法関連の規制見直し</li> <li>・設置届出義務の撤廃</li> <li>・設置離隔距離の短縮</li> <li>・逆火防止装置の省略</li> </ul>			