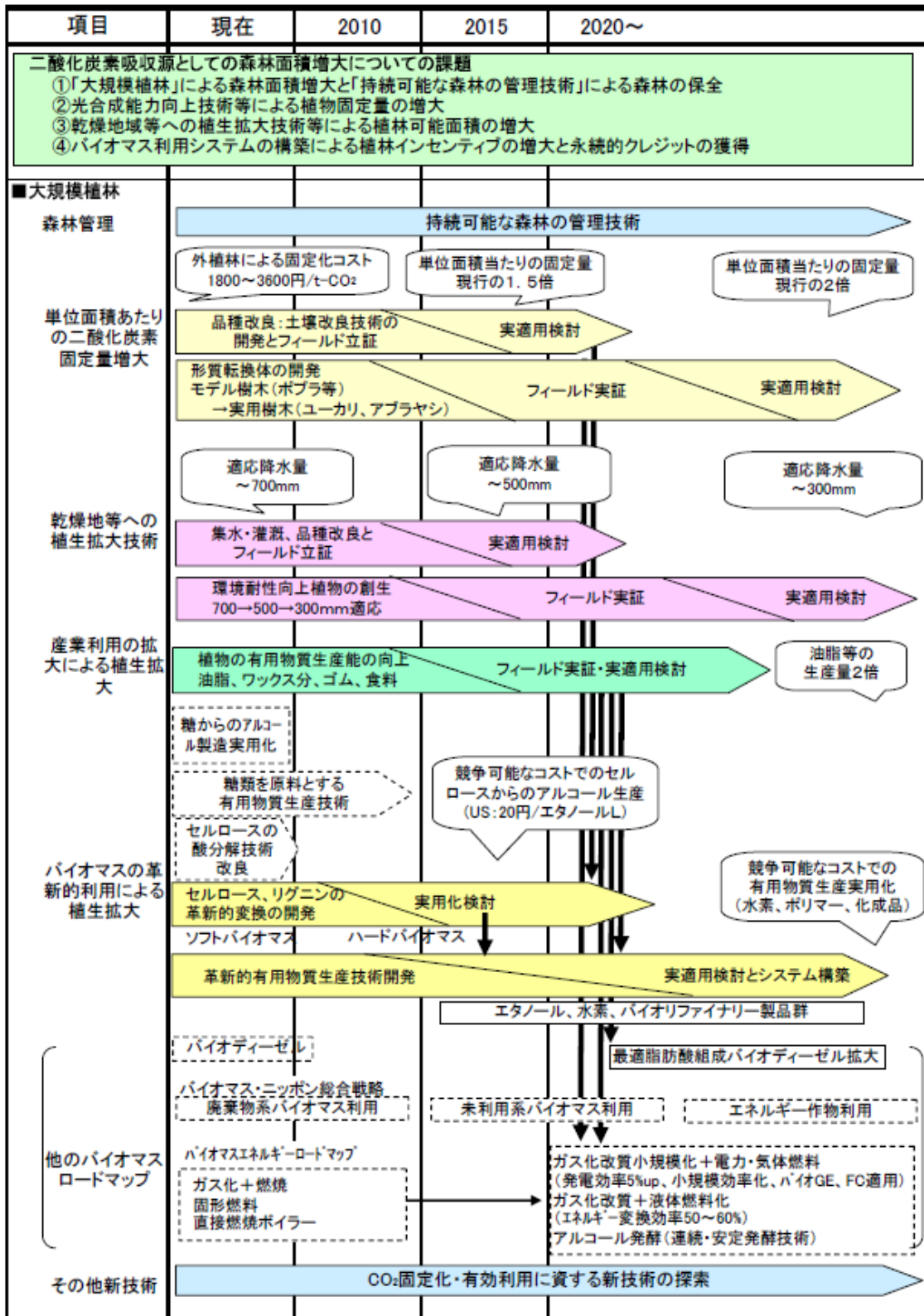


表 6-2 森林管理の技術ロードマップ



※植林：植林周期7年伐採+萌芽再植林、バイオマス生産量20m<sup>3</sup>/ha・年、植林管理費17-31%、用地リース費：50\$/ha・年

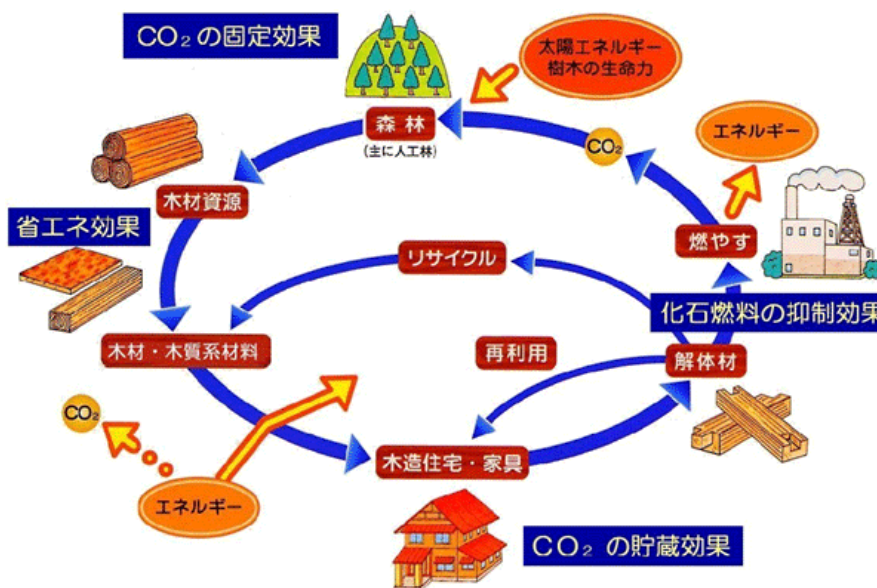
(出所) RITE「二酸化炭素固定化・有効利用技術戦略マップ」(2006年3月)

## 6.2 「森林管理による CO<sub>2</sub> 吸収」に関連するライフサイクルコスト分析

### (1) 林業のライフサイクル

林業部門における主要な構成要素としては、木材生産、森林造成・整備、林業労働力、技術水準、森林資源などがあり、相互に関連している。

図 6-3 林業のライフサイクル



(出所) 林野庁ホームページ

### (2) 植林コスト

RITE による海外植林プロジェクトのコスト調査によれば、植林コストは 1,600～3,000 ドル/ha となっている。

バイオマス生産量(成長量)を 20m<sup>3</sup>/ha/年と仮定した場合、CO<sub>2</sub> 固定化コストは 45～87 ドル/t-C となっている。これは、IPCC 第三次報告書の数百ドル/t-C の範囲内にはいっている。

### (3) 森林管理コスト

RITE 調査(2005)において、植林周期7年伐採+萌芽再植林、バイオマス生産量 20m<sup>3</sup>/ha/年、植林管理費 17-31%、用地リース費 503,000 ドル/ha/年という前提で試算した結果は、1,800～3,600 円/t-CO<sub>2</sub>となっている。

### 6.3 「森林管理による CO<sub>2</sub> 吸収」の産業へのインパクト

森林による CO<sub>2</sub> 吸収量を増加させるためには、林業・木材産業を活性化させることである。森林管理に関連する産業としては、「農林水産業」の「林業」が中心となり、その中の「育林」が特に重要である。また、「林業」による生産物である「パルプ・紙・木製品」の「製材・木製品」、「家具・装備品」、「パルプ・紙・板紙・加工紙」の経済活動は、林業全般に影響を及ぼす。さらに、「製材・木製品」が利用される「建築」の経済活動も影響が大きい。

直接の波及効果ではないが、森林管理の初期投資として「一般機械」の「特殊産業機械」も必要とされる。

表 6-3 「森林管理(によるCO<sub>2</sub>吸収)」の産業インパクト(産業連関表の投入係数)

簡易分類(13部門) 大分類(32部門) 中分類(104部門) 小分類(188部門) 基本分類(517X405)	中間需要																			
	農林水産業				製造業										建設					
	林業				パルプ・紙・木製品				家具・装備品				一般機械		建築					
	育林	素材	特用林産物		製材・木製品			その他の木製品	木製家具・装備品	木製建具	パルプ	特殊産業機械		住宅建築				非住宅建築		農林関係公共事業
					製材	合板	木材チップ					農業用機械	その他の特殊産業機械	住宅(木造)	住宅(非木造)	非住宅(木造)	非住宅(非木造)			
農林水産業	0.136	0.014	0.476	0.088		0.424	0.114	0.399	0.008	0.000	0.000	0.011	0.	0.		0.000	0.001	0.001	0.001	0.003
耕種農業	0.001	0.001	0.	0.004		0.	0.	0.	0.000	0.	0.	0.001	0.	0.		0.000	0.001	0.000	0.001	0.003
林業	0.134	0.011	0.476	0.084		0.424	0.114	0.399	0.008	0.000	0.000	0.010	0.	0.		0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
育林	0.120	0.011	0.476	0.		0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.	0.	0.000
素材	0.014	0.000	0.	0.083		0.424	0.114	0.399	0.002	0.000	0.	0.010	0.	0.		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
特用林産物	0.000	0.000	0.	0.001		0.	0.	0.	0.006	0.000	0.000	0.	0.	0.		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
鉱業	0.000	0.000	0.000	0.		0.	0.	0.	0.000	0.	0.	0.001	0.000	0.		0.002	0.000	0.003	0.002	0.022
食料品	0.016	0.000	0.	0.094		0.	0.001	0.	0.000	0.	0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.	0.	0.
繊維製品	0.005	0.001	0.002	0.025		0.001	0.000	0.001	0.004	0.007	0.005	0.006	0.001	0.001		0.003	0.003	0.003	0.004	0.001
パルプ・紙・木製品	0.009	0.001	0.000	0.052		0.000	0.243	0.135	0.224	0.233	0.291	0.416	0.001	0.000		0.176	0.082	0.133	0.027	0.006
製材・木製品	0.006	0.001	0.000	0.035		0.	0.220	0.135	0.221	0.156	0.213	0.416	0.000	0.000		0.131	0.051	0.110	0.020	0.006
製材・合板・チップ	0.006	0.000	0.	0.035		0.	0.220	0.135	0.210	0.117	0.146	0.416	0.000	0.000		0.092	0.034	0.107	0.019	0.006
製材	0.006	0.000	0.	0.035		0.	0.063	0.135	0.071	0.023	0.043	0.	0.000	0.000		0.078	0.020	0.093	0.008	0.003
合板	0.	0.	0.	0.		0.	0.157	0.	0.129	0.094	0.102	0.	0.000	0.000		0.015	0.015	0.014	0.011	0.003
木材チップ	0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.	0.009	0.000	0.	0.416	0.	0.		0.	0.	0.	0.	0.
その他木製品	0.000	0.000	0.000	0.000		0.	0.	0.	0.011	0.039	0.067	0.	0.000	0.000		0.038	0.017	0.004	0.002	0.000
建設用木製品	0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.	0.000	0.023	0.063	0.	0.	0.		0.038	0.017	0.004	0.002	0.000
その他の木製品	0.000	0.000	0.000	0.000		0.	0.	0.	0.011	0.016	0.005	0.	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
パルプ・紙・板紙・加工紙	0.003	0.000	0.	0.017		0.000	0.022	0.	0.003	0.021	0.058	0.	0.000	0.000		0.011	0.007	0.005	0.002	0.000
化学製品	0.005	0.008	0.000	0.002		0.000	0.106	0.	0.020	0.033	0.030	0.063	0.003	0.005		0.008	0.008	0.005	0.005	0.003
化学肥料	0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.	0.000	0.	0.	0.000	0.	0.		0.	0.	0.	0.	0.000
無機化学基礎製品	0.000	0.000	0.	0.		0.	0.	0.	0.000	0.000	0.	0.050	0.000	0.001		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
有機化学基礎製品	0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.	0.	0.
有機化学製品	0.000	0.	0.	0.001		0.	0.	0.	0.003	0.003	0.001	0.002	0.	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
化学最終製品	0.005	0.008	0.000	0.001		0.000	0.106	0.	0.018	0.024	0.029	0.011	0.003	0.004		0.008	0.008	0.005	0.005	0.002
農業	0.004	0.006	0.000	0.001		0.	0.	0.	0.000	0.	0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.	0.	0.
石油・石炭製品	0.009	0.002	0.010	0.033		0.002	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.012	0.001	0.001		0.000	0.002	0.001	0.002	0.014
一般機械	0.000	0.000	0.000	0.		0.	0.	0.002	0.000	0.017	0.000	0.	0.287	0.198		0.001	0.003	0.006	0.017	0.000
一般産業機械	0.000	0.000	0.000	0.		0.	0.	0.002	0.000	0.000	0.000	0.	0.114	0.042		0.001	0.003	0.006	0.016	0.000
特殊産業機械	0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.157	0.137		0.	0.	0.	0.	0.
建設(建築補修)	0.002	0.000	0.005	0.005		0.001	0.002	0.000	0.005	0.005	0.007	0.007	0.001	0.006		0.001	0.001	0.001	0.001	0.003
電力・ガス・熱供給	0.006	0.001	0.003	0.028		0.014	0.018	0.018	0.017	0.011	0.008	0.095	0.008	0.008		0.004	0.006	0.004	0.005	0.006
水道・廃棄物処理	0.000	0.000	0.000	0.001		0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.009	0.001	0.002		0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
商業	0.021	0.008	0.007	0.087		0.090	0.074	0.087	0.061	0.084	0.084	0.080	0.058	0.051		0.068	0.070	0.067	0.069	0.066
金融・保険	0.012	0.002	0.014	0.045		0.011	0.013	0.013	0.022	0.023	0.016	0.026	0.013	0.013		0.009	0.008	0.010	0.009	0.028
不動産	0.001	0.001	0.001	0.003		0.002	0.001	0.001	0.004	0.007	0.012	0.003	0.004	0.005		0.003	0.003	0.003	0.004	0.003
運輸	0.052	0.022	0.119	0.066		0.056	0.052	0.049	0.047	0.033	0.039	0.057	0.020	0.019		0.047	0.054	0.045	0.054	0.059
通信・放送	0.001	0.001	0.002	0.000		0.001	0.001	0.002	0.003	0.005	0.004	0.001	0.002	0.003		0.002	0.002	0.001	0.001	0.007
サービス	0.011	0.005	0.014	0.031		0.018	0.032	0.028	0.033	0.054	0.040	0.033	0.046	0.056		0.063	0.078	0.075	0.081	0.098
内生部門計	0.305	0.074	0.662	0.626		0.639	0.669	0.746	0.526	0.625	0.631	0.831	0.669	0.572		0.530	0.540	0.529	0.545	0.524
家計外消費支出	0.006	0.005	0.013	0.		0.014	0.019	0.014	0.017	0.012	0.012	0.006	0.020	0.027		0.022	0.021	0.021	0.021	0.014
雇用者所得	0.208	0.207	0.284	0.102		0.184	0.179	0.160	0.294	0.249	0.231	0.065	0.191	0.222		0.296	0.341	0.297	0.341	0.345
営業余剰	0.462	0.723	0.068	0.082		0.100	0.058	0.023	0.100	0.046	0.082	0.029	0.073	0.100		0.079	0.028	0.078	0.025	0.029
資本減耗引当	0.034	0.006	0.023	0.153		0.031	0.041	0.032	0.042	0.026	0.019	0.047	0.038	0.060		0.045	0.044	0.046	0.042	0.067
間接税(除開税)	0.025	0.013	0.046	0.038		0.033	0.035	0.027	0.022	0.043	0.025	0.022	0.010	0.020		0.029	0.026	0.029	0.026	0.023
(控除)経常補助金	-0.040	-0.028	-0.096	-0.001		-0.002	-0.000	-0.002	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000		-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
粗付加価値部門計	0.695	0.926	0.338	0.374		0.361	0.331	0.254	0.474	0.375	0.369	0.169	0.331	0.428		0.470	0.460	0.471	0.455	0.476
国内生産額	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

(出所)総務省「産業連関表」をもとに日本エネルギー経済研究所作成

## 7 技術情報標準化の総合評価と今後の課題

本調査では、プリンストン大学環境研究所（PEI）炭素削減イニシアティブ（CMI）で対象としているCO<sub>2</sub>削減技術のうち、太陽光発電、高効率自動車（ハイブリッド自動車）、バイオ燃料、CO<sub>2</sub>回収・貯留（CCS）、森林管理によるCO<sub>2</sub>吸収という5分野を選定し、技術情報の整理とライフサイクルコスト分析をもとに、産業へのインパクトを検討した。

### (1) ライフサイクル別整理

選定した5分野の技術は、最終製品（システム）が資本財、耐久消費財、非耐久消費財などにより、初期投資を含む製造段階と使用段階での経済活動に大きな違いがある。

「太陽光発電システム」や「ハイブリッド自動車」などの耐久資本財の場合、製造段階よりも使用段階の方が期間は長いいため、使用段階での経済活動も波及効果が大きい。しかし、「バイオ燃料」のような非耐久消費財では、使用段階の期間は非常に短いため、製造段階だけが経済活動へ影響を及ぼすことになる。

表 7-1 対象技術のライフサイクル

対象技術	特殊分類 (財分類)	設備製造・ 建設 (初期投資)	製品		使用	リサイクル・ 廃棄
			素材	製品		
太陽光 発電 システム	資本財 ・耐久 消費財	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造装置</li> <li>工場建屋</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>資源採掘</li> <li>素材精製・精 錬</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽電池 セル・モジュ ール</li> <li>周辺機器</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電 (=電気料金 削減)</li> <li>保守点検・修 理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽電池 の再利用</li> <li>アルミ・鉄 等の再生</li> </ul>
ハイブリ ッド自動 車	耐久 消費財	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造装置</li> <li>工場建屋</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>資源採掘</li> <li>素材精製・精 錬</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>部品製造 (二次電池、 モータ、制御 装置等)</li> <li>自動車組立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料(ガソリ ン、軽油) 消費量削減</li> <li>保守点検・修 理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>モータ等の 構造材の 再生</li> <li>二次電池 の構造材・ 希少金属 の再生</li> </ul>
バイオ 燃料	非耐久 消費財	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造装置 (反応,貯 蔵,蒸留 等)</li> <li>工場建屋</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>農作物栽培</li> <li>原料調達 (農作物収 集・廃棄物回 収)</li> <li>反应用化学 品製造</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>反応・精製</li> <li>輸送</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料消費</li> </ul>	- (消費 = 廃棄)
CCS	資本財	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造装置</li> <li>工場建屋</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>吸収剤 (化学品)</li> <li>吸着材料</li> <li>構造材</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置建設</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置運転 (エネルギー :電気・燃料)</li> <li>輸送(燃料)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材(鉄) 等の再生</li> </ul>
森林管理 による CO <sub>2</sub> 吸収	複合 (資本財・ 生産財)	<ul style="list-style-type: none"> <li>(農業機 械)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(森林)</li> <li>(木材)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(木製品)</li> <li>(紙・パルプ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(育林・植林)</li> </ul>	(全体として はリサイクル)

(2) 対象技術

技術の成熟度により公開情報量が異なるため、情報整理の難易度に差が生じている。太陽光発電やハイブリッド自動車などのようにすでに実用化されている技術ほど、標準化のための情報は収集しやすい。以下、各技術別の評価の結果の課題を整理した。(表 7-2)

表 7-2 技術別評価のまとめ

対象技術	技術内容	コスト構造 (LCA)	課題
太陽光発電システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>シリコン結晶系太陽電池技術は実用化し、産業としても確立</li> <li>低コスト化に向けた新規技術開発が進行中</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造時コストが高比率</li> <li>多くの高価な製造装置およびエネルギーを必要とする</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽電池の種類やプロセス方法が多く、技術整理は複雑</li> <li>LCA 評価およびコストの試算事例は存在するが、最新のデータはさらなる調査が必要(薄膜化合物半導体型)</li> </ul>
ハイブリッド自動車	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般自動車と共通する部品が大半</li> <li>二次電池の低コスト化技術開発が鍵</li> <li>モータの高性能化も重要</li> <li>ハイブリッド特有部品と既存部品とのユニット化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般自動車と同様に、製造時のコストだけでなく、使用時の燃料コストも必要</li> <li>ハイブリッド自動車の燃費向上により、燃料コストを削減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動車のLCA 評価事例はあるが、ハイブリッド車の例は希</li> <li>二次電池の要素部品・素材別のコスト情報収集のためにさらなる調査が必要</li> </ul>
バイオ燃料	<ul style="list-style-type: none"> <li>第一世代のバイオ燃料は技術確立</li> <li>第二世代(セルロース系バイオエタノール、BTL等)は技術開発途上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地域(特に日本)により、バイオマス原料が高コスト</li> <li>製造装置の建設・設置コストも高比率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LCA 評価事例はあるが、コスト情報が少ない</li> <li>詳細なコスト情報収集のためにさらなる調査が必要</li> </ul>
CCS	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存技術の組み合わせが多く、個別の技術はほぼ確立</li> <li>日本国内の場合、CO<sub>2</sub> 貯留場所が限定的</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造時と使用時のコストが不明確</li> <li>CO<sub>2</sub> 分離回収段階が高コスト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>要素技術の整理方法が不十分 詳細調査が必要</li> <li>要素技術別のコスト情報収集のためにさらなる調査が必要</li> </ul>
森林管理によるCO <sub>2</sub> 吸収	<ul style="list-style-type: none"> <li>林業および木材産業の活動が主体</li> <li>間伐や植林が主要技術</li> <li>品種改良および土壌改良も広義の技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>産業連関表による投入構造およびCO<sub>2</sub> 削減コストのみ例示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>要素技術の詳細整理が不十分</li> <li>要素別のコスト内訳の情報収集のためにさらなる調査が必要</li> </ul>

(出所) 日本エネルギー経済研究所作成

### 1) 太陽光発電システム

太陽光発電システムは、日本国内に限らず欧米を中心に導入が盛んになっており、世界的に市場が確立してきた。しかし、他の再生可能エネルギーに比べると発電コストが高いため、新しい材料を利用する技術開発が進められているのが現状である。

太陽電池にはシリコン系や化合物半導体系など多くの種類があり、それぞれの種類別に特有の製造プロセスが異なり、要素技術の体系化は非常に複雑になっている。したがって、コスト構造を把握するために、多くの情報を必要とする。現時点では、多結晶シリコンやアモルファスシリコン型のライフサイクルインベントリ分析の事例が公開されており、コスト構造分析に利用することができるが、その情報でさえ、産業連関表に展開するには不十分である。その他の化合物半導体系の CIS、CIGS 系太陽電池などの最新技術に関しては、さらにコスト情報が少ない状況である。

### 2) ハイブリッド自動車

ハイブリッド自動車は、一般の自動車にモータ、二次電池、制御装置などを追加した構造となっているため、ハイブリッド固有部品のみ注目して評価を行った。

ハイブリッド自動車特有の部品である二次電池は、それ自体が多くの要素技術を含み、単独でも十分評価すべき技術である。ハイブリッド自動車用二次電池には特別の仕様はあるものの、民生用や電力貯蔵用などと共通の要素技術を有している。太陽電池と同様に、機能材料の素材選定および部品の加工にノウハウが含まれており、非常に複雑なプロセスにより製造されている。その要素技術別のコストに関する情報は非常に少ないため、産業連関表への展開は困難な状況である。

二次電池以外にも、モータやコントロールユニットも重要な部品であるが、その製造プロセスやコストに関する情報も、公開情報だけでは不十分である。

ところで、ハイブリッド自動車特有の部品だけを対象としたが、実際のハイブリッド自動車では、エンジンなどの既存車用品も改良したり小型化・ユニット化したりすることにより低コスト化を図っていることも、今後は考慮すべき点である。

### 3) バイオ燃料

糖質やデンプン質を原料としたバイオエタノールおよび植物油のメチルエステル化によるバイオディーゼルの製造技術は確立しており、欧米やアジアでは実用化段階にある。ただし、将来に向けて、セルロース系バイオマス（木質）からの発酵によるバイオエタノールやガス化による FT 合成油などの第二世代のバイオ燃料の製造技術は開発途上である。したがって、新技術に関する要素技術は今後も増加する可能性が高いため、さらなる調査が必要となる。

バイオ燃料の製造コストは、バイオマス原料の種類、製造プロセス、製造場所（地域）などにより大きく異なるため、平均的なコスト構造を示すのが困難である。特に日本の場合、国産バイオマスを利用すると原料だけで 7 割近くを占めるという状況である。したがって、当面は海外からバイオエタノールを輸入する計画であるが、この場合には国内での

製造段階が省略され、使用段階のみとなる。

バイオ燃料を製造する場合には、反応層、貯留層、蒸留装置など、化学製品や石油製品の製造と同様な設備を建設する必要があり、初期投資が大きくなる。

#### 4) 二酸化炭素回収・貯留 (CCS)

日本国内で CCS は実証研究段階であるが、CO<sub>2</sub> 分離・回収技術や CO<sub>2</sub> 圧入技術などは既存の技術を応用したものであり、海外では実用レベルのプロジェクトが数例存在する。

コストに関する情報は、分離回収・昇圧、輸送、圧入という各プロセス別には公表されているが、利用される機器レベルでの内訳は明確になっていない。

#### 5) 森林管理による CO<sub>2</sub> 削減

森林管理自体は新しい技術ではなく、従来の林業そのものと考えてよい。つまり、林業を活性化し、木材などの森林資源を加工した製品を有効活用することにより、結果的に CO<sub>2</sub> 吸収が持続されることになる。植林は林業の一部門であるが森林を増加するための主要な活動であり、樹木が早く成長するように品種改良したり土壌改良したりするよな技術も存在するが、さらなる調査が必要となる。

### (3) SNA 統計への適用

SNA 統計と整合するように技術情報を標準化するためには、個々の要素技術の産業連関を金額ベースで把握する必要がある。新しい技術（産業）を産業連関表の投入係数として表示するためには、コスト構造を明確化する必要がある。しかし、今回の調査では公開情報を中心にデータを収集した結果、産業連関表で投入構造を定量的に示すには不十分であり、定性的に特定産業へのインパクトを示す程度に留まった。

今後、このようなデータを入手するためには、対象技術に関連する各業界の協力を得ながら、材料・部品レベルから最終製品までの各段階でのコスト構造を調べる必要がある。厳密な分析ができれば理想的であるが、対象となる要素技術は無数にあり、一つずつ分析していくのは効率が悪い。そこで、技術の特徴による産業連関パターン把握し、体系化する方法を検討することが課題となる。