第３章　導入検討

第１節　導入検討手法

§15　導入検討手順

本システムの導入検討においては以下の手順で導入を検討する。

（１）　基礎調査

（２）　導入効果の検討

（３）　導入判断

【解　説】

本システムの導入検討においては、導入の目的を明確にした後、**図 3-1** に示す導入検討フローに従って、必要な情報を収集し、費用関数等を用いた導入効果の概略試算を行い、導入範囲および導入時期を含めた導入判断を行う。また、試算結果が導入効果不十分であった場合には、適用シナリオを見直して、複数回の検討を行うことが望ましい。

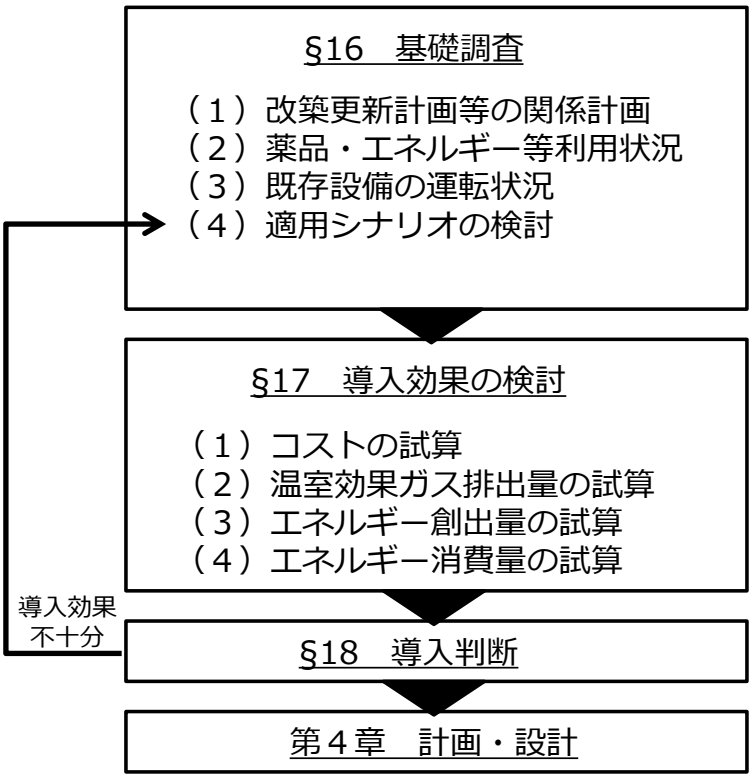

図 3-1　導入検討フロー

§16　基礎調査

基礎調査では主に以下について調査する。

（１）改築更新計画等の関係計画

（２）薬品・エネルギー等利用状況

（３）既存設備の運転状況

（４）適用シナリオの検討

【解　説】

基礎調査は、設計検討に先立ち、これまでの計画検討状況をまとめ、運転状況の調査を行うことにより現状を明確にし、**§17 導入効果の検討**に必要となる基礎情報を取得することを目的とし、下水道施設や関連計画等の情報の収集と整理、および運転状況の整理を行う。**表 3-1** に調査項目と収集方法をまとめた。

表 3-1　基礎調査内容

調査項目	細目	収集方法例	優先度	活用法
改築更新計画等の関係計画	（上位計画）			
	流域別下水道整備総合計画			
	都道府県構想			
	下水汚泥処理総合計画		○	設計汚泥量設定
	（個別計画）			
	汚泥処理計画	－	○	設計汚泥量設定
	施設再構築基本計画		○	導入段階設定
	長寿命化事業計画		○	〃
	（関係法令）			
	公害防止条例等			上乗せ基準の確認
薬品・エネルギー等利用状況	電力消費量	管理月報	○	現状把握
	補助燃料消費量	および日報	○	〃
	高分子凝集剤消費量	（３～５年分）	○	〃
	無機凝集剤消費量		○	〃
既存設備の運転状況	濃縮汚泥発生量・濃度	管理月報	○	設計汚泥量の設定
	脱水汚泥発生量・含水率	および日報	○	〃
		（３～５年分）		
		少なくとも		
		四半期毎収集		
	各設備稼働日数・負荷率	管理月報	○	設計汚泥量の設定
	場内利用二次処理水	および日報	○	冷却水使用量の設定
	（水量・水質・水温）	（３～５年分）		

（１）改築更新計画等の関係計画

設備の導入検討にあたって、既存の改築更新計画等の関連下水道計画の確認を行い、導入を検討している設備の位置づけや適用法令等を調査する。特に、段階的導入を検討する場合には、既存設備の導入時期や改築更新時期が導入効果に大きな影響を与えるため、既存設備の実際の劣化状況を踏まえて、長寿命化計画等の妥当性も含めて確認する。

（２）薬品・エネルギー等利用状況

既存の脱水設備や焼却設備がある場合には、少なくとも、管理月報等より電力消費量、燃料消費量、薬品消費量等の過去３年～５年程度分の月次履歴を整理する。望ましくは単純な消費量の把握だけでなく、定期修繕等の特殊要因での増減を区別し、定常時の消費量と非定常時の消費量を分けたうえで、定常時の消費量を汚泥処理量で割った原単位として算出することが望ましい。定常時の消費量原単位同士を導入前後で比較することで、より正確な導入効果の検討が行える。非定常時の

データを含んだまま比較検討を行うと、起動停止時の一時的な消費量変動の影響を受けて導入効果の正しい評価ができない場合がある。

（３）既存設備の運転状況

一般的な汚泥処理技術導入時の調査項目である、流入下水の水量、水質や水処理設備の運転状況を管理月報等より把握することに加えて、既存設備の稼働日数（稼働率）、濃縮・脱水汚泥性状および発生量、運転時の負荷率を整理し、現状の課題を抽出する。特に濃縮・脱水汚泥性状および発生量は、導入効果の試算に大きく影響を与えるため、最低でも四半期に一度、可能であれば毎月のデータを収集することが望ましい。また、十分な汚泥性状のデータが得られない場合には、焼却設備の補助燃料の消費量や脱水設備での凝集剤消費量、SS 回収率等のデータを基に、脱水性等を類推することも有効である。さらに、発電設備において使用されることとなる二次処理水の水質や、水温についても調査する。水質は、日報等から二次処理水の SS 濃度等を確認するとよい。水温は二次処理水の分析を行う際に付随的に測定することが多いため、そのデータを活用すると良い。

ここまでに整理した結果をもとに、§13 に示した評価項目を参考に課題を整理し取りまとめる。段階的導入を検討する場合には、老朽化度合や、維持管理費用の内訳を鑑みて、より多くの課題を抱えている部分について優先的に更新を図る計画（シナリオ）とするのが良い。また、既存設備が遠心脱水機や、気泡流動炉である等の場合には、直接的に建設費や維持管理費を比較することも有効である。

（４）適用シナリオの検討

導入効果の検討にあたっては、導入シナリオを設定する必要がある。適用するシナリオの検討においては、§11 で示した適用条件・推奨条件、（１）～（３）で整理した情報、§12 の推奨シナリオを踏まえて、導入効果発揮の可能性が高いと思われる全てのシナリオを抽出する。

§17　導入効果の検討

導入効果の検討では、**§16** で調査した内容を踏まえて適切な評価シナリオを選択し、簡易算定式により、本システムの以下の項目について試算し、現状システムおよび他システムとの比較をする。

（１）コスト
（２）温室効果ガス排出量
（３）エネルギー創出量
（４）エネルギー消費量

【解　説】

本システムの導入を検討する際には、コスト、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量等を算出し、現状や他システムの導入を行った場合等と比較することで導入効果の多寡を検討する。なお、本ガイドラインで提示する簡易算定式は、実証試験の成果等に基づき、特定の条件（**第２章第２節**における評価条件）を前提として設定したものである。他に詳細な建設費等の積算や、別途実証試験を行い維持管理費等の評価をした場合には、検討結果を踏まえ、導入下水処理場の実態に合わせた条件設定および試算を行ってもよい。

導入効果の検討手順を**図 3-2** に示した。なお、効果試算に用いる本システムの簡易算定式は第 2 章第 2 節における評価条件を前提としており、例えば、稼働率が異なる場合には、同じ検討規模であっても年間の処理汚泥量に差異が生じるため、灰処分費や苛性ソーダ消費量等の処理汚泥量に比例する項目については処理量比例で補正することが必要になる。また、発電設備における発電量は稼働率・負荷率の影響を大きく受けるため、定格処理量以下で運転することが多い場合や、頻繁に立ち上げ立ち下げをする場合には、簡易算定式の算出の前提としている稼働率(80%)・負荷率(100%)を踏まえて必要に応じて別途設定する必要がある。

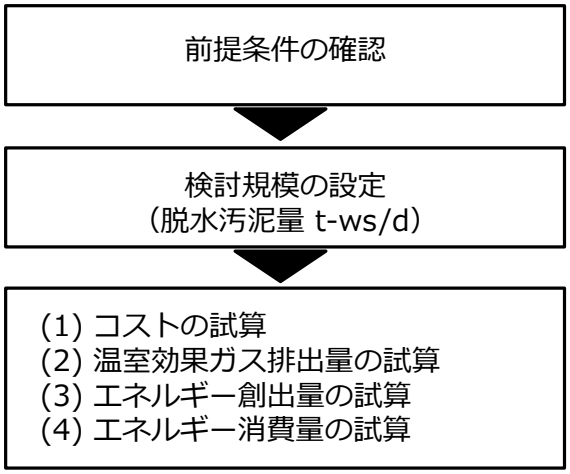

図 3-2　導入効果の検討手順

次に、検討規模（＝設計の脱水汚泥処理量）[t-wet/d] の設定をする。本ガイドラインで提示した簡易算定式における検討規模は、以下の式により固形物量基準で含水率 76%相当に換算した脱水汚泥量となっている。ただし、濃縮汚泥や脱水汚泥の貯留や、一時的な外部搬出等の合理的な手段により規模を調整することが可能であれば、その点を加味して検討規模を調節すると良い。検討規模を決めると、簡易算定式により各種費用や消費量が算出可能となる。

検討規模 x [t-wet/d]
＝日最大汚泥量（固形物量）[t-DS/d]×100%÷（100%－脱水汚泥含水率[%]）÷稼働率÷基数

（１）コストの試算

コストの試算においては、各設備および各費目に設定された簡易算定式等を用いて積算を行う。簡易算定式の適用範囲は脱水汚泥 100 t-wet/d から 300 t-wet/d の検討規模とする。また、導入シナリオによっては、導入時期が前後することによる追加的費用が生じる場合があり、その額は配置、利用期間、既設流用可否等によって大きく変化するため、個別に費用を積算し、足し合わせる必要がある。さらに、３技術を一括導入する場合と個別に導入する場合には、追加的費用とは別に、建設費に含まれる据付工事費や人件費等に増減が出るが、本簡易算定式は一括導入の場合を前提としており、段階的導入ケースにおいてより正確な評価を行いたい場合には、その差分を個別に調整することが不可欠である。具体的な調整・試算方法例については、**第２節**および**資料編 II. 簡易算定式**に示した。

１）建設費

建設費は、**表 3-2** に示した費用関数で総額を算出する。なお、表中の x は脱水汚泥ベースの設計の検討規模[t-wet/d]（含水率 76%換算）である。なお、脱水設備の費用関数は、予備機を含まないことに留意する。

表 3-2　建設費用関数

脱水設備	機械設備：$y_1=3.365\,x+444.3$
燃焼設備	土木設備：$y_2=0.438\,x+117$
	機械設備：$y_3=9.000\,x+1533$
	電気設備：$y_4=1.000\,x+600$
発電設備	機械設備：$y_5=0.772\,x+282$

y_n：建設費[百万円]　x：検討規模[t-wet/d]（含水率 76%換算、$100 \leqq x \leqq 300$）

２）維持管理費

維持管理費は、**表 3-3** に示した消費量の簡易算定式で各々の年間消費量を算出し、設定した単価をかけて算出する。なお、点検補修費は、脱水設備、燃焼設備の建設費年価の 2.4%と、発電設備の建設費年価の 1.3%を計上し、人件費は 100～300 t-wet/d の範囲で規模によらず一定で年間

5,500 万円を計上する。

表 3-3　消費量・発生量の簡易算定式

	消費量・発生量	単価（参考）	
脱水設備	電力 MWh/y：$y_6=4.654\,x$	15 円/kWh	
	高分子凝集剤 t/y：$y_7=0.516\,x$	50 万円/t	注入率 0.7%-TS
	ポリ硫酸第二鉄 t/y：$y_8=3.688\,x$	2 万円/t	注入率 5%-TS
燃焼設備	電力 MWh/y：$y_9=15.26\,x+115.3$	15 円/kWh	
	燃料 kL/y：$y_{10}=0.252\,x+1.439$	90 円/L	
	苛性ソーダ t/y：$y_{11}=4.050\,x$	4 万円/t	
	焼却灰 t/y：$y_{12}=17.101\,x$	0.8 万円/t	
発電設備	電力 MWh/y：$y_{13}=0.320\,x+57.44$	15 円/kWh	

y_n：消費量・発生量　x：検討規模[t-wet/d]　（含水率 76%換算、適用範囲 $100 \leqq x \leqq 300$）

なお、各種ユーティリティ単価は、調達単価を調査して、適切な値を設定することが望ましい。特に、電力費や燃料費等で過去の単価変動が大きいものに関しては、実績をベースにしつつも、耐用年数（10～15 年以上）を考慮して余裕を持った設定とすることが望ましい。また、高分子凝集剤やポリ硫酸第二鉄、苛性ソーダ等の工業用薬品の単価は、調達規模・方式、出荷地との距離等により大きく変動するため、新規に取り扱う薬品はメーカーから見積もりを取得する等して単価を設定することが望ましい。エネルギー（電力および燃料）消費量についても頻繁な立ち上げ、立ち下げを行う場合等には、大きく乖離する可能があることに留意する。

３）解体・廃棄費

解体廃棄費は、建設費年価の 10%を毎年計上する。

４）ライフサイクルコスト

ライフサイクルコストは、建設費年価、維持管理費、解体・廃棄費を足し合わせて算出する。

（２）温室効果ガス排出量の試算

温室効果ガス排出量の試算においては、簡易算定式で算出される電力消費量、燃料消費量等に**表 2-9** に示した排出原単位をかけて算出する。なお、施設の建設段階および解体・撤去時の温室効果ガス排出量については、**「下水道における LCA 適用の考え方（平成 22 年 2 月国土交通省国土技術政策総合研究所）」**終末処理場における環境負荷量（LC-CO_2）の算定事例から、建設段階 19.3%、供用段階 80.2%、解体・撤去時 0.5%の比率で換算し算出した。また、N_2O においては、**資料編Ⅰ. 実証試験**に示した実証試験における測定結果より、排出量原単位として 0.213 kg-N_2O/t-wet と設定する。

（３）エネルギー創出量の試算

エネルギー創出量の試算においては、設定された発電量関数を用いて試算する。発電量関数を**表 3-4** に示した。発電量関数は、汚泥の熱量（∝ VTS）や冷却水として使われる二次処理水温によって左右されるが、**資料編 II. 簡易算定式**にそのような場合の試算結果を合わせて示している。

表 3-4　エネルギー創出量の簡易算定式

	発電量
発電設備	y_{14}=13.04 x-275.1

y_{14}：発電量[MWh/y]　x：検討規模[t-wet/d]　（含水率 76%換算、適用範囲 100≦x≦300）

（４）エネルギー消費量の試算

エネルギー消費量の試算においては、電力および燃料の消費量に**表 3-5** に示したエネルギー原単位を掛けて試算する。

表 3-5　熱量ベースの換算係数

エネルギー	原単位
電力	9.484 MJ/kWh
A 重油	39.1 MJ/L

§18　導入判断

本システムの導入可否は、§17 で算定した定量的な導入効果から総合的に判断する。また、検討条件によって導入効果が小さい、または得られない場合には、その原因を分析し再度ケースを設定しなおして検討を行うことが望ましい。

【解　説】

本システム導入時のコスト等を算出後、従来技術や他システムとの比較を行い、本技術の導入判断を行う。コストのみならず、温室効果ガス排出量等の全ての項目で有意性を示すことが望ましいが、導入自治体および導入下水処理場が持つ固有の優先順位を設定し、例えばコストを重視して導入判断をすることも構わない。また、これらの視点以外で、例えば、敷地に余裕が少ない下水処理場等において低含水率化されることによる燃焼設備のスペースの縮小等の点を導入判断に加味しても良い。

検討を行った結果、優位性が得られなかった場合においても、検討シナリオの見直しにより優位性が得られる可能性がある。**図 3-3** にコスト優位性が得られない場合のシナリオの見直し方策の例を示した。汚泥処理量を見直すことで、規模の効果の享受を期待することや、**図 3-4** に示したように、設計の汚泥処理量を脱水機や発電機の機種ラインナップの区切りに合わせることで、負荷率・稼働率を高めて効率化すること、また段階的導入を前倒し、追加的費用の低減や連携効果の発現を前倒すこと等が有効である。

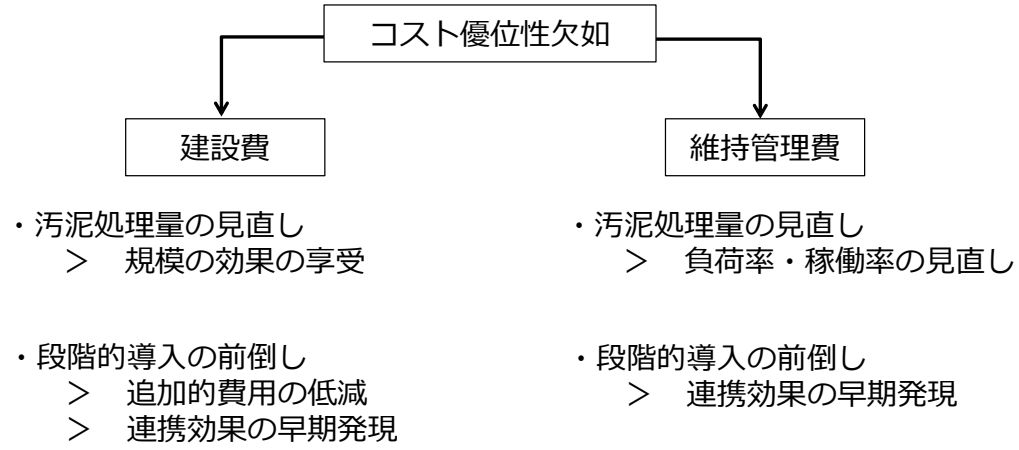

図 3-3　シナリオの見直し方策例

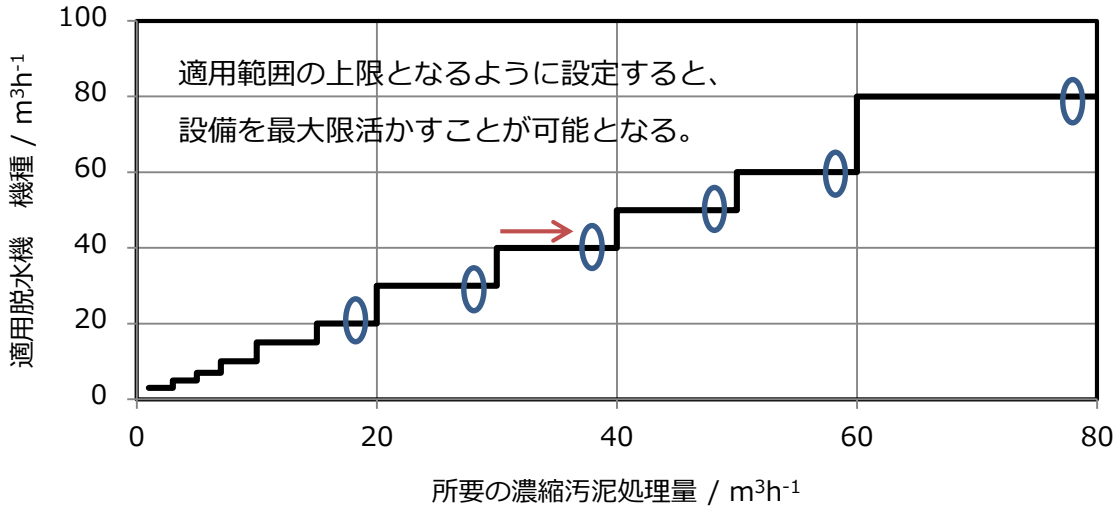

図 3-4　脱水機選定における規模の効果

第２節　導入効果の検討例

（１）試算条件の設定

本節では、追加的費用の発生が少なく、効果が早期に発現する条件として以下３ケースを設定し、試算結果を費用関数等による試算方法の説明と合わせて解説をする。またその他のケース（既存の焼却設備を改造するケース、消化汚泥を対象としたケース）および比較対象となる従来技術（一液調質脱水機＋流動焼却炉）に関する試算については**資料編 III. ケーススタディ**に試算方法および試算結果を収録している。なお、従来技術の試算と、本システムに関する試算では試算範囲が多少異なるため、**図 3-5** にその対応表を示した。

- CASE-1：一括導入ケース
- CASE-2：脱水・燃焼先行導入ケース
- CASE-3：燃焼・発電先行導入ケース

処理規模は、CASE-1 を 100 t-wet/d とし、CASE-2、CASE-3 は 200 t-wet/d とし、燃焼設備および発電設備は単基とする。また CASE-2 および CASE-3 の更新スケジュールを**表 3-6** および**表 3-7** に示す。双方ともに５年目に設備を追加・更新（６年目より効果が発現）するとした。その他の条件設定については、簡易算定式の算出に用いた条件をそのまま適用した。また、CASE-3 については、脱水設備からの汚泥移送経路の付け替えを伴う追加的費用の発生があるため、**資料編 II. 簡易算定式**に示した段階的導入時における補正方法を用いて、脱水設備の建設費を補正し計上している。なお、ここで特に示した条件以外については、**第２章**において設定した条件を踏襲した。

表 3-6　CASE-2 の更新スケジュール

年次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
脱水	更新(革新技術)															更新(革新技術)					～30年
燃焼	更新(革新技術)										更新(革新技術)										
発電						導入(革新技術)															

表 3-7　CASE-3 の更新スケジュール

年次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
脱水						更新(革新技術)※															～30年
燃焼	更新(革新技術)										更新(革新技術)										
発電	導入(革新技術)															更新(革新技術)					

※一括導入時と異なり、脱水～燃焼設備間の汚泥移送経路付け替え費が追加的に発生する

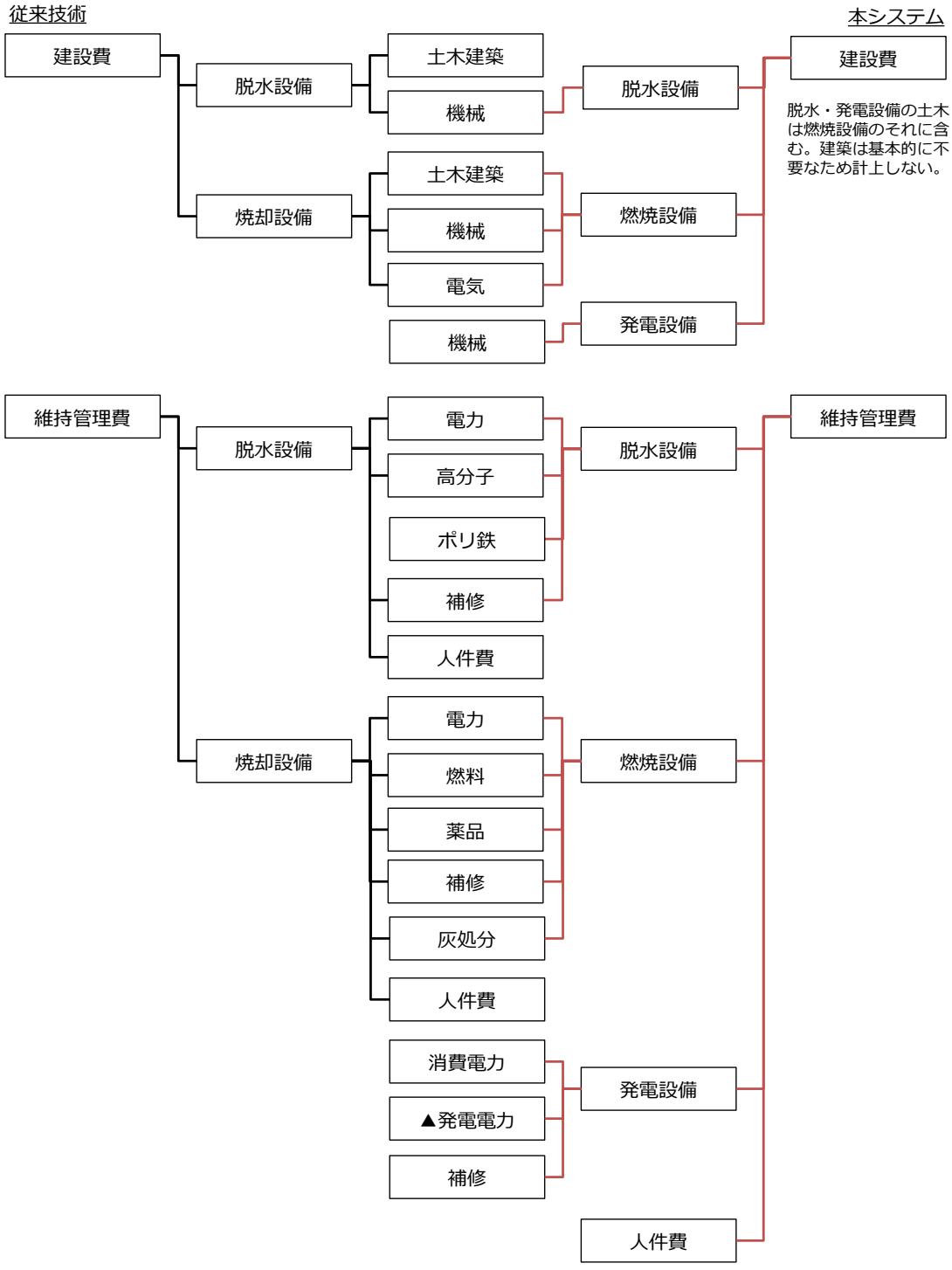

図 3-5　費用構造

（２）導入効果の検討結果（CASE-1）

表 3-8～表 3-11 および**図 3-6～図 3-8** に、従来技術と比較した導入効果の試算結果を示した。全ての比較項目で大幅な削減を達成した。特に、コストにおける維持管理費は４割強の削減率となり、

ライフサイクルコストの低減に寄与している。また、エネルギー消費量（ここでは、発電によるエネルギー創出量を差し引いた消費量）においては燃焼設備において定常的に自燃が可能であることを反映して、燃料消費量が９割以上低減された。また、発電設備からの電力で全体の消費エネルギーの約半分を賄えることが示された。同様に温室効果ガス排出量については、補助燃料使用と電力使用に由来する CO_2 排出量低減と燃焼に伴う N_2O 排出量の低減がそれぞれ大きく６割以上の低減となった。

表 3-8　導入効果の試算結果　（CASE-1）

	従来技術	本システム	低減率
ライフサイクルコスト	10.24 億円/年	7.10 億円/年	30.6 %
エネルギー消費量※	52,754 GJ/年	12,113 GJ/年	77.0 %
温室効果ガス排出量	10,222 t-CO_2/年	3,544 t-CO_2/年	65.3 %
エネルギー創出量	―	1,029 MWh/年	―

※発電によるエネルギー創出量を差し引いた消費量

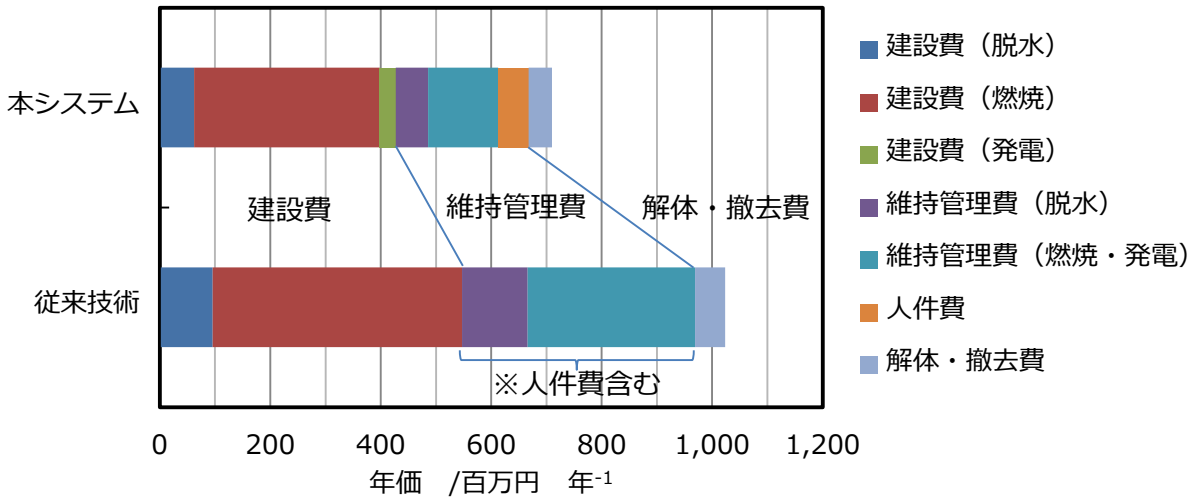

図 3-6　CASE-1 のライフサイクルコスト（年価換算）

表 3-9　CASE-1 のライフサイクルコスト（年価換算）

百万円/年	従来技術	本システム	低減率
建設費・脱水設備	95.7	62.1	
建設費・燃焼設備	451.1	336.3	21.9%
建設費・発電設備	-	28.6	
維持管理費・脱水設備	118.9	58.9	
維持管理費・燃焼設備	303.3	135.9	43.0%
維持管理費・発電設備	―	-9.4	
人件費	維持管理費に含む	55.0	
解体・撤去費	54.7	42.7	21.9%

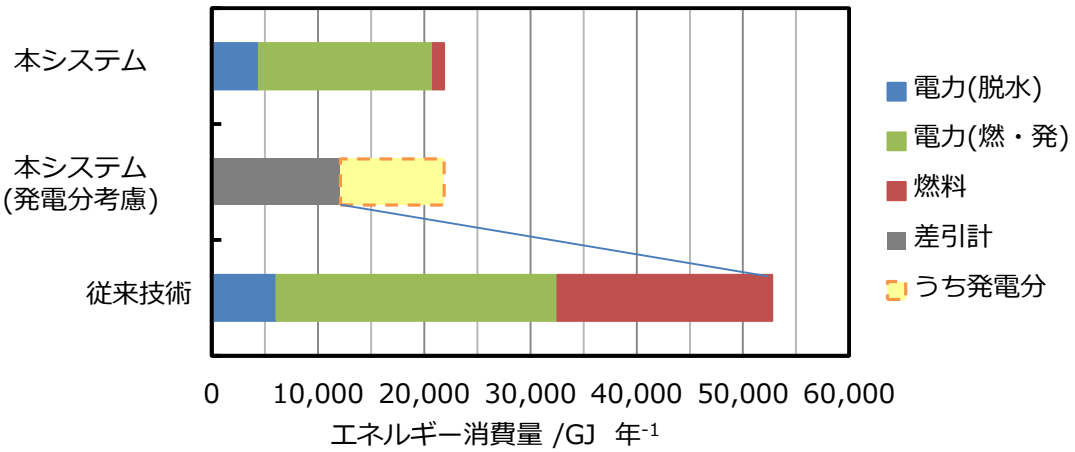

図 3-7　CASE-1 のエネルギー消費量

表 3-10　CASE-1 のエネルギー消費量

GJ/年	従来技術	本システム	低減率
消費電力・脱水設備	6,093	4,414	27.5%
消費電力・燃焼設備	26,447	15,566	41.1%
消費燃料・燃焼設備	20,215	1,040	94.9%
消費電力・発電設備	-	848	-
発電電力・発電設備	-	-9,756	-

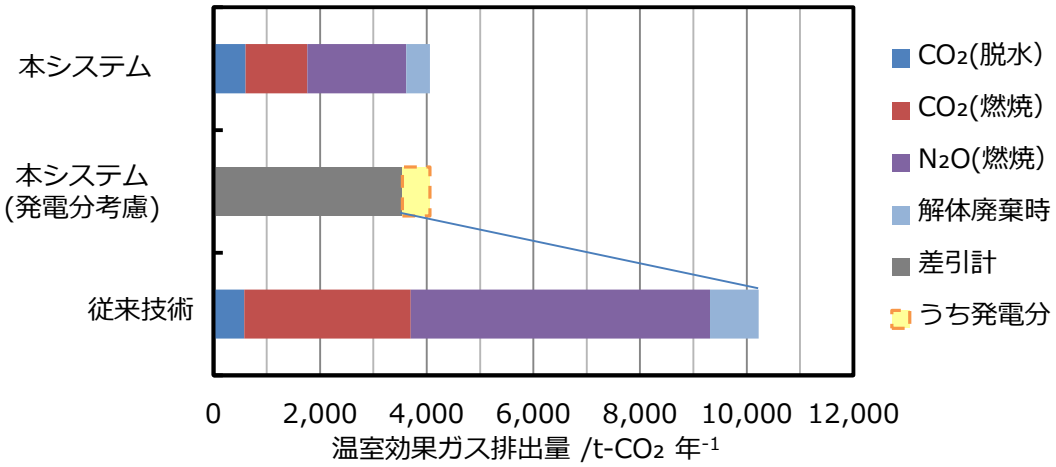

図 3-8　CASE-1 の温室効果ガス排出量

表 3-11　CASE-1 の温室効果ガス排出量

t-CO_2/年	従来技術	本システム	低減率
CO_2・脱水設備	581	589	-1.4 %
CO_2・燃焼設備	3,116	1,157	62.9 %
N_2O・燃焼設備	5,613	1,853	67.0 %
CO_2・発電設備	0	-517	-
建設+解体廃棄時	913	447	-

（２）導入効果の検討結果（CASE-2）

CASE-2 における本システムの導入効果を、従来技術及び一括導入シナリオとの比較で評価した。**図 3-9～図 3-12** 及び**表 3-12～表 3-13** に試算結果を示した。なお、累計コストは投資年次に建設費年価×耐用年数分の費用を計上し、維持管理費は毎年計上した。脱水・燃焼を先行し、後から発電設備を導入するケースでは、一括導入シナリオに比べ建設費が約１％、発電設備導入前の維持管理費が 8%上昇するものの、従来技術との比較では、建設費が 28%、発電設備導入前の維持管理費が 43%削減され、20 年間の累計コストで約４割削減される等、一括導入に近い導入効果が得られることが確認できた。なお、GHG 排出量は発電設備の追加によって２割程削減された。

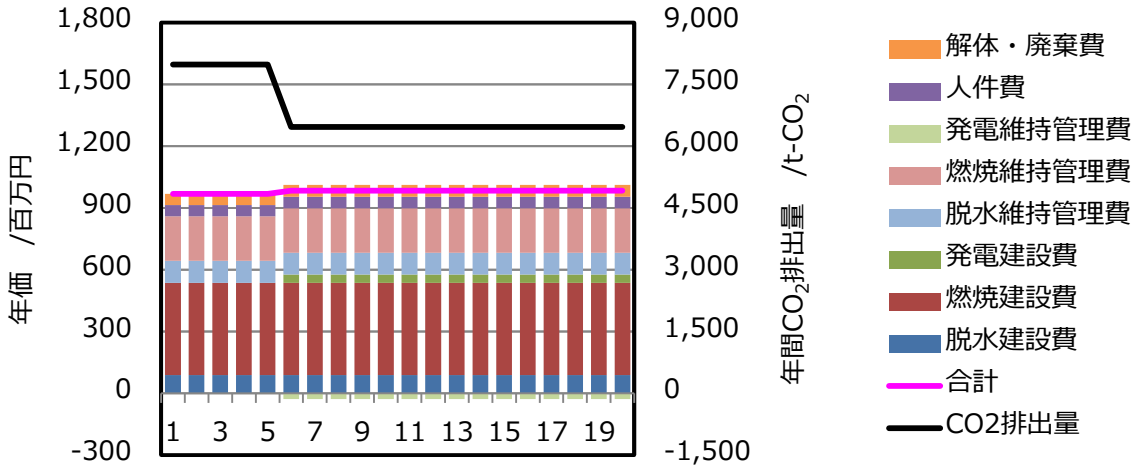

図 3-9　ライフサイクルコスト（年価換算）と GHG 排出量の推移（革新技術（脱水・燃焼先行））

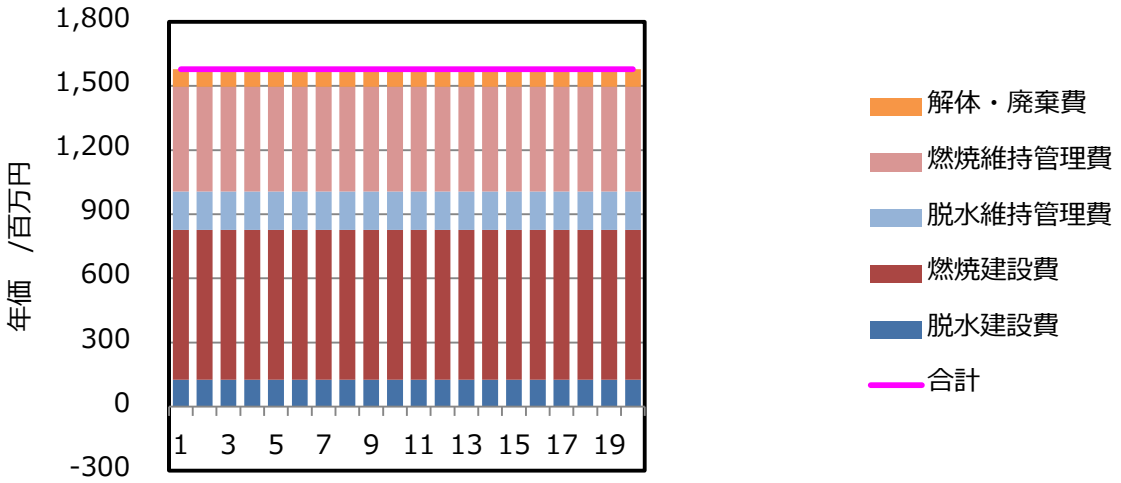

図 3-10　ライフサイクルコスト（年価換算）の推移（従来技術）

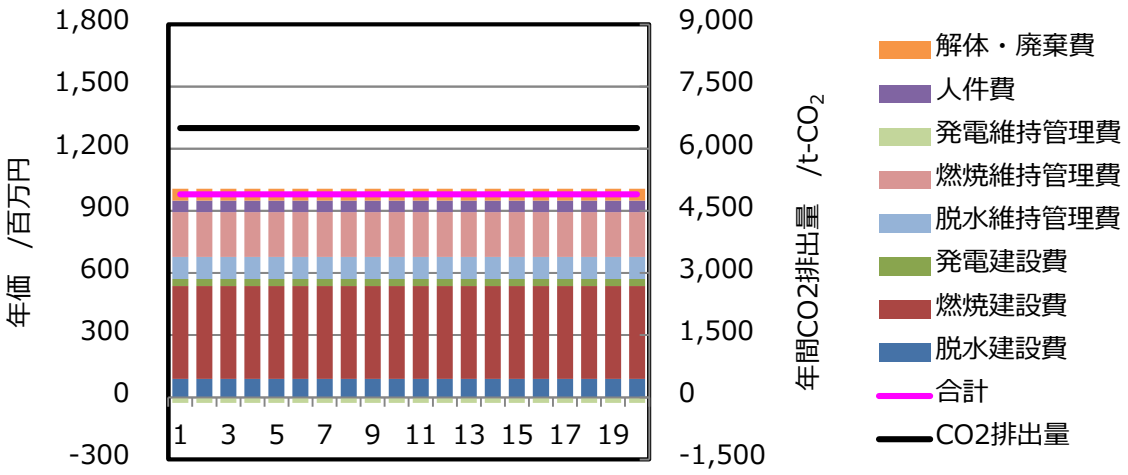

図 3-11　ライフサイクルコスト（年価換算）と GHG 排出量の推移（革新技術（一括導入））

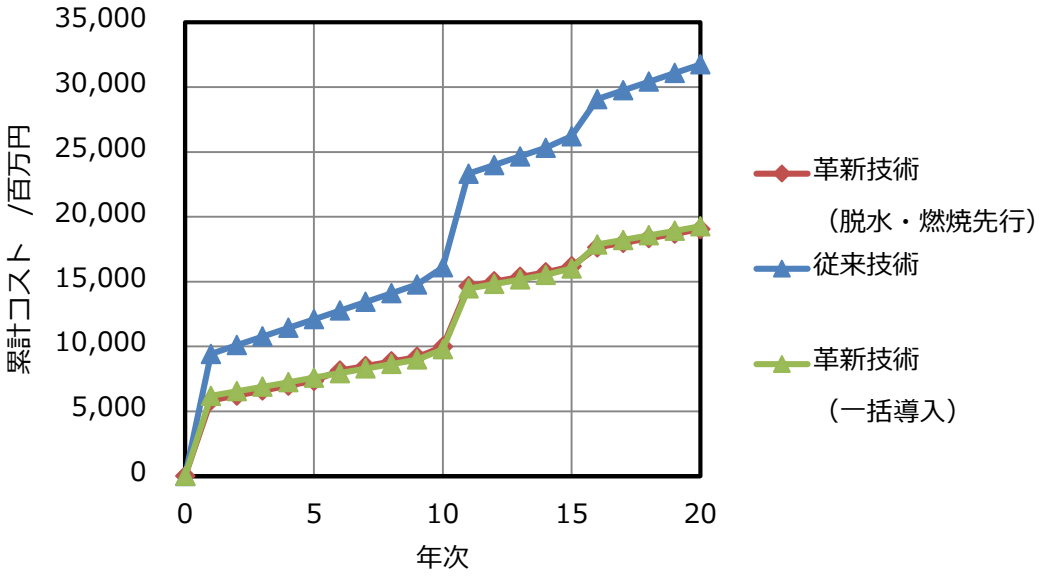

図 3-12　各シナリオにおける累計コストの推移比較（CASE-2）

表 3-12　CASE-2 の累計コスト

年次	革新技術 （脱水・燃焼先行） 百万円	従来技術 百万円	革新技術 （一括導入） 百万円	設備の導入・更新
1	5,833	9,423	6,185	脱水・燃焼の導入
2	6,211	10,091	6,536	
3	6,589	10,760	6,886	
4	6,968	11,428	7,237	
5	7,346	12,096	7,588	
6	8,133	12,765	7,939	発電の導入※
7	8,484	13,433	8,289	
8	8,834	14,102	8,640	
9	9,185	14,770	8,991	
10	9,969	16,094	9,775	燃焼の撤去
11	14,658	23,321	14,463	燃焼の更新
12	15,008	23,989	14,814	
13	15,359	24,658	15,165	
14	15,710	25,326	15,515	
15	16,172	26,214	16,016	脱水の撤去
16	17,640	29,079	17,863	脱水の更新
17	17,991	29,747	18,214	
18	18,342	30,415	18,565	
19	18,692	31,084	18,915	
20	19,043	31,752	19,266	

※一括導入の場合、発電設備は１年目に導入され、15 年目に撤去、16 年目に更新となる。

表 3-13　各シナリオにおける革新技術の導入コスト比較

		革新技術 （脱水・燃焼先行）	従来技術	革新技術 （一括導入）
建設費(6 年目以降)	百万円/年	576.4	798.8	571.2
維持管理費(6 年目以前)	百万円/年	378.2	668.4	350.7

（３）導入効果の検討結果（CASE-3）

CASE-3 における本システムの導入効果を、従来技術及び一括導入シナリオとの比較で評価した。規模が同等のため、従来技術及び一括導入シナリオのライフサイクルコスト推移は CASE-2 と同じである。**図 3-13～図 3-14** 及び**表 3-14～表 3-15** に試算結果を示した。燃焼・発電を先行し、後から脱水設備を導入するケースでは、一括導入シナリオに比べ建設費が約２％、脱水設備導入前の維持管理費が 17%上昇するものの、従来技術との比較では、建設費が 27%、脱水設備導入前の維持

管理費が 39%削減され、20 年間の累計コストで約４割削減されることが確認できた。また、CASE-2 との比較では、脱水設備の導入を遅らせることにより、非低含水率の脱水汚泥が供給し続けられるため、燃焼設備における補助燃料および電力消費量が大きくなり、システム全体の維持管理費が非効率となることが示された。このように、脱水設備は後段の全ての設備に影響を与えるため、建設時の追加的費用抑制を考慮しつつ、可能な限り上流側から整備を進めることにより投資効果の前倒し享受が可能となる。

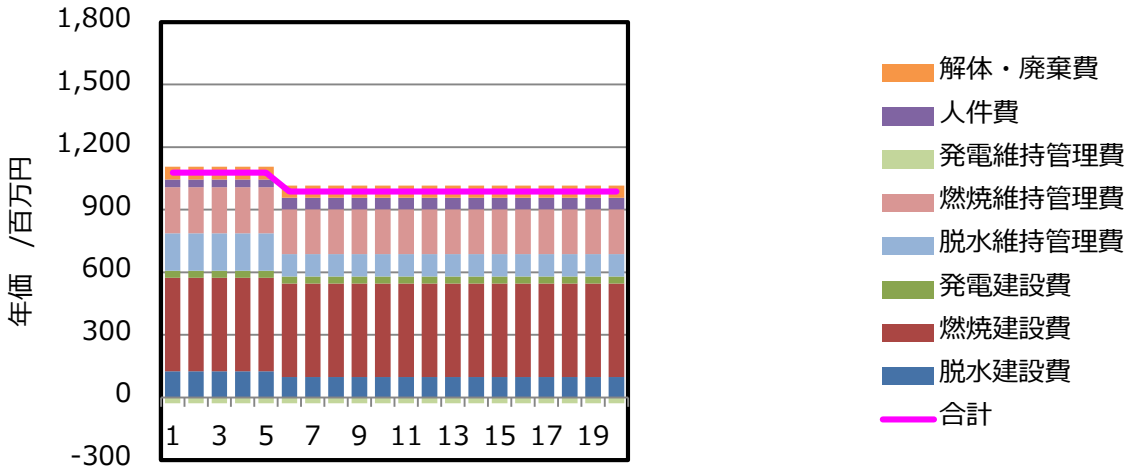

図 3-13　ライフサイクルコスト（年価換算）の推移（革新技術（燃焼・発電先行））

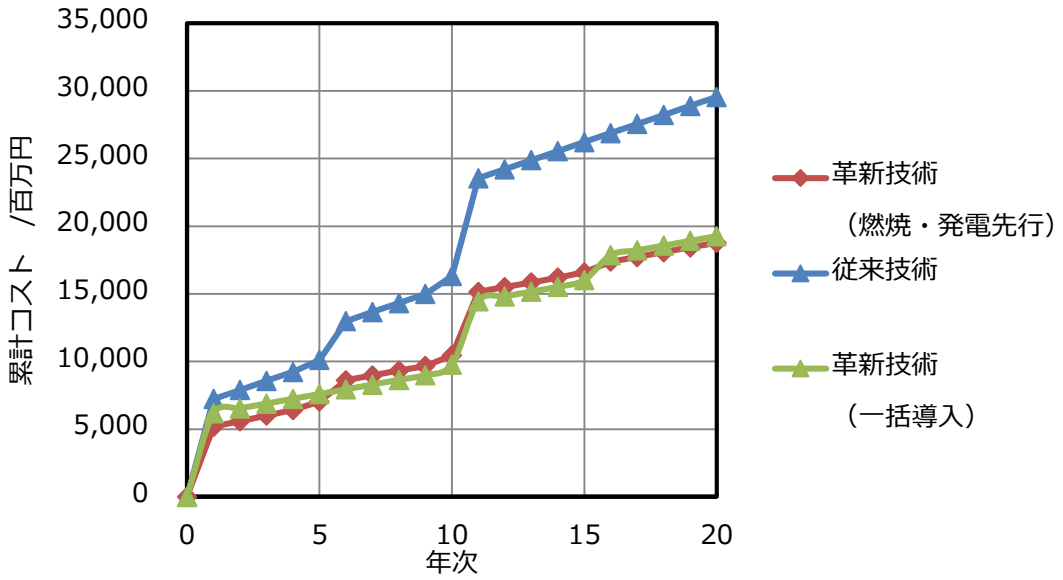

図 3-14　各シナリオにおける累計コストの推移比較（CASE-3）

表 3-14　CASE-3 の累計コスト

年次	革新技術 （燃焼・発電先行） 百万円	従来技術 百万円	革新技術 （一括導入） 百万円	設備の導入・更新
1	5,184	7,227	6,185	燃焼・発電の導入
2	5,593	7,895	6,536	
3	6,003	8,563	6,886	
4	6,412	9,232	7,237	
5	7,042	10,120	7,588	
6	8,621	12,984	7,939	脱水の導入※
7	8,972	13,653	8,289	
8	9,323	14,321	8,640	
9	9,673	14,990	8,991	
10	10,458	16,314	9,775	燃焼の撤去
11	15,146	23,540	14,463	燃焼の更新
12	15,497	24,209	14,814	
13	15,848	24,877	15,165	
14	16,198	25,546	15,515	
15	16,593	26,214	16,016	発電の撤去
16	17,380	26,882	17,863	発電の更新
17	17,730	27,551	18,214	
18	18,081	28,219	18,565	
19	18,432	28,888	18,915	
20	18,783	29,556	19,266	

※従来技術及び一括導入の場合、脱水設備は１年目に導入され、15 年目に撤去、16 年目に更新が発生する。

表 3-15　各シナリオにおける革新技術の導入コスト比較

		革新技術 （燃焼・発電先行）	従来技術	革新技術 （一括導入）
建設費(6 年目以降)	百万円/年	580.1	798.8	571.2
維持管理費(6 年目以前)	百万円/年	409.6	668.4	350.7