

研究論文

タイにおけるキャッサバパルプを用いた
エタノール製造に関する分析

Systems Analysis of Ethanol Production Using Cassava Pulp in Thailand

永 富 悠*・山 本 博 巳**・山 地 憲 治***
 Yu Nagatomi Hiromi Yamamoto Kenji Yamaji
 岩 崎 博****・山 田 興 一*****
 Hiroshi Iwasaki Koichi Yamada

(原稿受付日2006年6月16日, 受理日2006年10月20日)

Abstract

In this study, we consider the locations of cassava starch factories, the transportation costs of cassava pulp and scale economy of ethanol-production plant. Then, we calculate the number, the locations, and the scale of ethanol plants and transportation of cassava pulp in Thailand, using a mathematical optimization technique. We obtained the following results. We assume a base case where the ethanol price is 30JPY/l, the process improvement of the ethanol production are effective, and scale economy is effective. In the simulation results, all resources of cassava pulp in Thailand is transported to Nakorn Rachasima where there are many cassava-starch factories and a large plant that produces 694 million liter is constructed. The ethanol production cost consists of 4.6JPY/l of the constant cost, 2.1JPY/l of the variable cost, 4.3JPY/l of the resource cost, 7.2JPY/l of the transportation cost. The profit of this case is 8.3 billion JPY.

1. はじめに

バイオマスは炭素循環の観点からカーボンニュートラルな特性をもつ。バイオマスを原料とする燃料用バイオエタノールは、主にガソリンなど自動車用燃料の代替用途として検討が進んでいる。現在、数あるバイオマス資源の中でも安価でかつ豊富な資源を擁するリグノセルロース系バイオマスを用いてエタノールを生産する技術の研究が行われている。

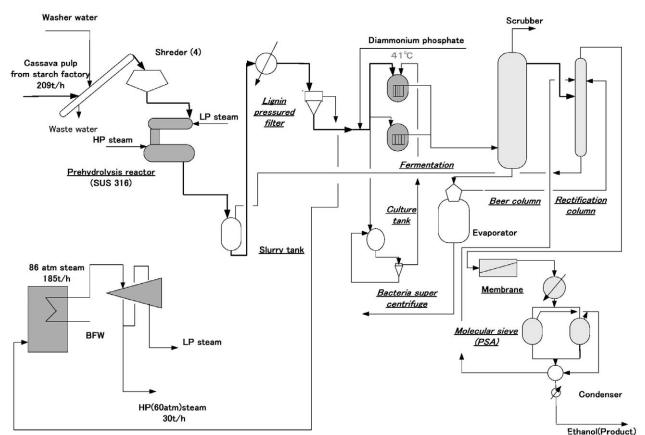
代表的なリグノセルロース系バイオマスとしてキャッサバからスターチを製造する過程で生じる残渣であるキャッサバパルプが注目を浴びている。特にタイにおいては年間約1,800万t前後のキャッサバが生産され、キャッサバスターチへの加工プロセスで大量のキャッサバパルプが残渣として排出されている。そのため豊富な資源を持つキャッサ

バパルプの活用が期待される。

本研究では、タイにおいてキャッサバパルプを原料としたエタノール製造プラントの最適化計算の下、キャッサバパルプを用いたエタノール製造システムの分析を行うことを目的とする。

2. エタノール製造プロセスの概要

今回評価対象としたエタノール製造プロセスはNREL (National Renewable Energy Laboratory (USA)) によって検討されているプロセス¹⁾とそれを基に合理化を行った山田らのプロセス²⁾の2つである。

図1 山田らのプロセス²⁾

* 東京大学大学院新領域創成科学研究科

先端エネルギー工学専攻修士課程

〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 (工学部10号館)

E-mail: nagatomi@yamaji.t.u-tokyo.ac.jp

** (財)電力中央研究所 社会経済研究所主任研究員

東京大学大学院新領域創成科学研究科

先端エネルギー工学専攻客員助教授

*** 東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻教授

**** 成蹊大学理工学部特別研究員

***** 東京大学理事, 成蹊大学理工学部特別研究招聘教授

NRELプロセスは前処理として硫酸による加水分解を行い、Zymomonas mobilisを用いて発酵させ、蒸留及びPSA法によって精製する。山田らのプロセスは水熱法により加水分解を行い、Coryneformバクテリアを用いて発酵させ、蒸留・膜・PSAのハイブリッドプロセスによって精製を行っている。山田らの合理化により従来のNRELプロセスに対してコスト削減が実現された。

3. タイにおけるキャッサバ資源

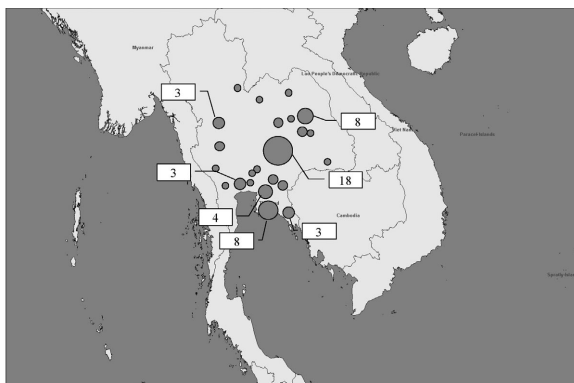
キャッサバを用いてスターチを生産する過程において1tのキャッサバから0.2tのスターチが生産され、0.6t(含水重量)のキャッサバパルプが排出される。タイでは年間約170万t前後のスターチが生産されており³⁾、それに伴って約500万t(含水重量)のキャッサバパルプが排出されている。これは山田らのプロセスを用いればエタノール約70万klに相当する資源量となる。

現地調査の結果よりタイには68のスターチ製造プラントがある⁴⁾。それらを県単位で分類し、各県のスターチプラント数を各県の人口、面積等の諸情報とあわせて表1及び図2

表1 各県のスターチプラント数及び諸情報⁴⁾

ノード番号	県名	面積(km ²)	人口	工場数
1	NakonRatchasima	20494	2556260	18
2	Kalasin	6947	921336	8
3	Rayong	3552	522133	8
4	ChonBuri	4363	1040865	4
5	Chanthaburi	6338	480064	3
6	NakonPathom	2168	815122	3
7	KamphaengPhet	8608	674027	3
8	Chachongengsao	5351	635153	2
9	Chaiyaphum	12778	1095360	2
10	MahaSarakhannm	5292	947373	2
11	UthaiThani	6730	304122	2
12	Sakao	7195	485632	2
13	Ratchaburi	5197	791,217	1
14	Bangkok	1569	6355144	1
15	Kanchanaburi	19483	734394	1
16	Uttaradit	7839	464474	1
17	PathumThani	1526	677649	1
18	SaraBuri	3577	575053	1
19	SiSaket	8840	1405500	1
20	RoiEt	8299	1256458	1
21	KhonKaen	10886	1733434	1
22	UdonThani	11730	1467158	1
23	Loei	11425	607083	1

注) 各県には便宜上1から23までのノード番号を振った。



注) 数字は各県に存在するスターチプラント数

図2 工場分布図

表2 各県の道路網による結線状況

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	N	N	N	N	N	321	184	89	182	226	N	N	N	N	N	N	141	240	203	177	N	N
2	N	-	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	71	N	N
3	N	N	-	87	91	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
4	N	N	87	-	N	N	N	30	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
5	N	N	91	N	-	N	N	N	N	N	134	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
6	N	N	N	N	N	-	N	N	N	N	N	40	51	61	N	N	N	N	N	N	N	N
7	321	N	N	N	N	N	-	N	279	N	132	N	N	N	N	143	N	259	N	N	N	260
8	184	N	N	30	N	N	N	-	N	N	106	N	64	N	N	N	106	156	N	N	N	N
9	89	N	N	N	N	N	279	N	-	N	219	N	N	N	N	332	289	256	187	N	110	189
10	182	N	N	N	N	N	N	N	-	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	42	55	N
11	226	N	N	N	N	N	132	N	219	N	-	N	N	N	159	249	160	131	N	N	N	293
12	N	N	N	N	134	N	106	N	N	N	-	N	168	N	N	169	150	283	300	N	N	N
13	N	N	N	N	N	40	N	N	N	N	N	-	N	63	N	N	N	N	N	N	N	N
14	N	N	N	N	N	51	N	64	N	N	N	168	N	-	N	29	N	N	N	N	N	N
15	N	N	N	N	61	N	332	N	159	N	63	N	-	N	106	156	N	N	N	N	N	N
16	N	N	N	N	143	N	289	N	249	N	N	N	N	-	402	353	N	N	N	N	N	172
17	N	N	N	N	N	N	75	256	N	160	169	N	29	106	402	-	69	N	N	N	N	N
18	141	N	N	N	N	N	259	100	187	N	131	150	N	156	353	69	-	N	N	N	N	324
19	240	N	N	N	N	N	N	N	N	N	283	N	N	N	N	N	N	-	126	N	N	N
20	203	177	N	N	N	N	N	N	N	42	N	300	N	N	N	N	N	N	126	-	N	N
21	177	71	N	N	N	N	N	N	110	55	N	N	N	N	N	N	N	N	N	-	109	166
22	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	109	-	113
23	N	N	N	N	N	N	260	N	189	N	293	N	N	N	N	172	N	338	N	N	166	113

注) 表内のNはノード(県)間で直接道路がつながっていないことを示す。表内の数字は各県間の直線距離であり単位はkmである。

に示す。尚、現地調査では個々のスターチプラントの規模の定量的データは入手できず、どのプラントもほぼ同程度の規模であるとの情報を得るにとどまったため、スターチプラントの規模は全て一定であると仮定した。

排出されるキャッサバパルプは相当量であり、表1及び図2よりタイでは広い地域にわたってスターチプラントが存在することがわかる。また表1に示した各県はそれぞれ主要幹線道路でつながっており、道路網を考慮した各県間の結線状況及び各県間の距離は表2のようになる。

4. 評価モデル

本研究では輸送コスト及びエタノール製造プラントの規模の経済を模擬するために、Dijkstra法⁵⁾及び0.7乗則を用いてモデルを作成した。

モデルの目的関数の中で、エタノール製造プラントのコスト(固定コスト)は設備の規模の経済があるため、設備の大規模化が望ましい。キャッサバパルプの輸送コストは、設備が大規模化すれば平均輸送距離が増加することにより増加する。本モデルではこれらの要素を考慮して、利益最大化を達成するように各スターチプラントからのエタノール製造プラントへのキャッサバパルプの輸送を割り付けた。そして、その上でプラントの最適な配置、設備規模、生産エタノール量等に関して評価を行った。

4.1 計算の全体像

タイにおいてスターチプラントが存在する全23県を対象に、エタノール製造プラントを建設するか否かの2の23乗通りの組み合わせを考慮する。

2の23乗のプラント建設候補地の組み合わせ毎に、以下に定式化する計算モデルによってシステム総収支最大化の最適化計算を行った後に、全組み合わせの中で最もシステム総収支が良い計算結果を選択する。

従って、本計算方式で得られた結果(建設場所、プラント設備規模、プラント別エタノール生産量、資源輸送量等)は、プラント建設候補地の全組み合わせを網羅した上での厳密な最適解である。

4.2 定式化

- ・プラント建設ノードの組み合わせ毎のシステム総収支

$$J = \sum_n (ESELL_n - (CSF_n + CSV_n + CSR_n + CST_n)) \rightarrow \max \cdots (1)$$

n : 全23地域ノード中のプラント建設ノード, $ESELL_n$: エタノール売却収入, CSF_n : 固定費, CSV_n : 可変費, CSR_n : 資源費, CST_n : 輸送費

- ・固定費

$$CSF_n = PFC * CAP_n + LC_n \cdots \cdots \cdots (2)$$

$PFC(CAP_n)$: 単位設備規模あたり建設費, CAP_n : 設備規模, LC_n : 労働費

0.7乗則を用いて規模の経済を模擬した結果, 単位設備規模あたり建設費及び総建設費は図3のようになる。

尚, 式(2)の労働費に関しては, プラント規模によらず3.8億円で一定であるとした。

- ・可変費

$$CSV_n = VC * CAP_n * UT \cdots \cdots \cdots (3)$$

VC : 単位設備規模あたり可変費, CAP_n : 設備規模, UT : 稼働率

- ・資源費

$$CSR_n = RSCC * CP_n \cdots \cdots \cdots (4)$$

$RSCC$: 単位キャッサバパルプ質量あたり資源費, CP_n : 各ノードにおけるキャッサバパルプ量

著者らの現地調査よりパルプ資源費は600円/tを使用する。

- ・輸送コスト

$$CST_n = \sum_m ((TRNPCA * DST_{m,n} * ROAD + TRNPCR) * TCP_{m,n}) \cdots (5)$$

$TRNPCA$: 単位距離あたりの単位重量輸送費, $DST_{m,n}$: ノードm-n間直線距離, $ROAD$: 道路係数, $TRNPCR$: 距離に依存しない単位重量輸送費, $TCP_{m,n}$: ノードmからnへのキャッサバパルプ輸送量

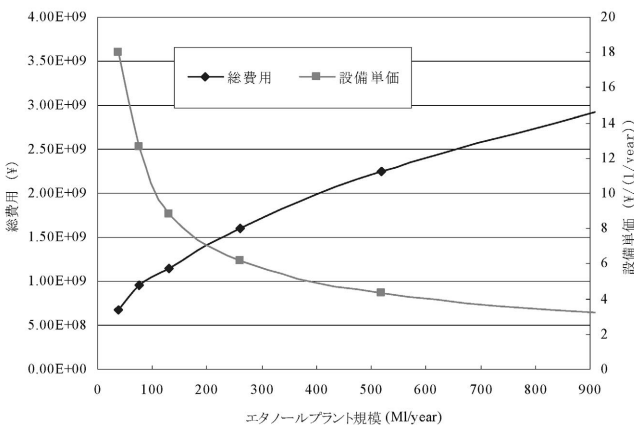


図3 総建設費及び単位設備規模あたり建設費

表3 Dijkstra法によって求めた輸送距離

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	54	302	355	268	446	344	375	238	143	236	280	344	384	293	351	432	264	195	294	257	251	340	332
2	279	31	580	493	633	548	491	463	212	157	431	499	588	497	544	440	468	399	325	199	102	211	268
3	323	571	22	109	113	254	498	139	412	505	370	245	294	203	315	292	214	239	528	526	500	609	563
4	239	487	112	25	203	170	414	35	328	421	286	161	210	119	231	308	130	155	444	442	416	525	479
5	422	632	121	208	30	353	573	238	501	506	445	164	393	302	414	667	313	314	447	464	561	670	638
6	308	535	250	163	341	18	370	133	354	490	238	237	58	69	79	487	98	167	520	511	464	573	491
7	356	495	511	424	578	387	35	394	314	479	167	444	389	356	326	178	327	294	596	521	424	408	295
8	212	460	145	58	236	143	387	28	301	394	259	134	183	92	204	481	103	128	417	415	389	498	452
9	132	224	433	346	514	379	322	316	43	208	262	380	419	328	375	332	299	230	372	250	153	262	232
10	209	153	510	423	503	499	471	393	192	27	411	369	539	448	506	420	419	350	195	69	82	191	248
11	257	431	379	292	446	251	163	262	250	415	31	312	253	220	190	280	191	162	497	457	360	437	324
12	322	300	255	168	166	251	441	138	369	374	313	32	291	200	307	535	201	182	315	332	429	538	506
13	357	584	299	212	399	67	381	182	403	539	249	286	27	118	90	498	147	216	569	590	513	622	540
14	254	481	196	109	287	66	536	79	300	436	204	183	106	15	127	446	44	113	466	427	410	519	437
15	350	566	346	259	437	114	344	229	385	532	212	328	116	165	53	461	159	209	590	553	495	604	505
16	411	442	603	516	670	502	176	486	322	426	282	536	504	464	441	33	435	386	594	468	371	318	205
17	225	452	207	120	298	95	307	90	271	407	175	184	135	44	121	417	15	84	465	428	381	490	408
18	163	390	239	152	306	171	281	122	209	345	153	172	211	120	178	375	91	22	403	366	319	428	346
19	275	329	541	454	452	537	596	424	364	203	501	318	577	486	572	596	485	416	35	161	258	367	424
20	237	202	538	451	468	527	520	421	241	76	460	334	567	476	534	469	447	378	160	34	131	240	297
21	216	110	517	430	370	485	428	400	149	94	368	436	525	434	481	377	405	336	262	136	39	148	205
22	286	180	587	500	640	555	373	470	219	164	406	506	595	504	551	285	475	406	332	206	109	41	113
23	318	277	595	508	662	527	300	478	229	261	333	528	555	476	492	212	447	378	429	303	206	153	40

注) 数値はノードを經由した最短距離であり, 単位はkm.

道路係数とは直線距離から道路の曲がりなどを考慮した道路上の実移動距離を算出するために用いる係数である⁶⁾。

輸送はトラックを用いたパルプの資源輸送のみを考慮し, 生産されたエタノールはプラントのある場所で売りさばかれると仮定した。同一県内直線距離は各県を円とみなした時の半径の2/3とし, 県間距離はDijkstra法によって最短直線距離を求めそれぞれに道路係数⁶⁾をかけたものを輸送距離とする。これより輸送費は輸送距離及び輸送するパルプの重量によって決定される。

Dijkstra法とは特定の点からの最短経路・最短距離を求める手法である。特定の始点からネットワーク上の各ノードへの最短経路を始点の周辺から一つずつ確定し, 徐々に範囲を広げ, 最終的には直接的に道路でつながっていないノードを含めて全ノードへの最短経路を求める。ネットワークは各ノード間の距離を配列要素としたノード数×ノード数の隣接行列で表す。

表2の結線状況からタイにおける各県間の輸送距離はDijkstra法により表3のように決定される。

- ・設備規模

$$CAP_n = EP * \sum_m CP_{m,n} / UT \cdots \cdots \cdots (6)$$

EP : 単位キャッサバパルプ量あたり生産エタノール量, $CP_{m,n}$: ノードmからnへのキャッサバパルプ輸送量, UT : 稼働率

山田ら²⁾のモデルプラントの値より EP は質量比で0.11とする。

- ・エタノール収入

$$ESELL_n = CAP_n * UT / DENS * EPRICE \cdots \cdots \cdots (7)$$

CAP_n : 設備規模, UT : 稼働率, $DENS$: エタノール密度 (0.793kg/l), $EPRICE$: エタノール価格 (円/l)

5. ケース要素とケース設定

5.1 エタノール価格

昨今の原油価格高騰の影響を受けて輸送用燃料に用いられる可能性のあるエタノール価格は乱高下している現状で

あるため、エタノール価格の変化に対する影響を考慮すべきであると考えケース要素とした。基準ケース30円/lとし、高価格ケース50円/lとした。

5.2 エタノール製造プラントの稼働率

エタノール製造の原料に用いるキャッサバパルプは農作物製品の残渣であるために、資源量が季節変化し、また含水率が高いために長期間の貯蔵が困難であると考えられる。そのためエタノール製造プラントの稼働率が利用可能な資源量に影響を受けると考えられるため、これらを考慮してFAOの情報³⁾より稼働率82.2%を基準ケースとし、稼働率50%を低稼働率ケースとした。

5.3 プラントのプロセス合理化

山田ら²⁾によって検討されたプロセス合理化を基準ケースとし、NRELオリジナルプロセス¹⁾をプロセス合理化なしケースとした。表4は合理化前後の各コストの比較である。ただし表4のPFC値は設備規模が25万kl時の値である。

5.4 規模の経済の上限

基準ケースでは規模の経済の上限を仮定しない。規模の経済の上限有りケースでは、規模の経済が働く上限を年産25万klの規模とし、それ以上のプラント規模においては規模の経済が働かないとした。

5.5 ケース設定

以上よりエタノール価格30円/l、稼働率82.2%、プロセス合理化有、規模の経済上限無を基準ケースとし、基準ケースを基にそれぞれの各ケース要素に対してケースを設定する。そして特に基準ケースに対して最も経済的に不利な条件を揃えたケースを最悪ケースとした。

以上より各ケース設定は以下表5の通りである。

表4 プロセス合理化と各定数

		NRELオリジナル	プロセス合理化
固定費	PFC(¥/kg-ethanol)	10.4	7.8
	LC(M¥)	380	380
可変費	VC(¥/kg-ethanol)	8	2.6
資源費	RSCC(¥/kg-cassavapulp)		0.6
輸送費	TRNPCA(¥/(t-cassavapulp·km))		3
	TRNPCR(¥/(t-cassavapulp))		150
収入	EPRICE(¥/l)		case
その他	UT(%)		case
	ROAD		1.25
	EP(kg-ethanol/kg-cassavapulp)		0.11
	DENS(kg/l)		0.793
	キャッサバパルプ総量(kt-wet)		5000

表5 各ケース設定

	エタノール価格(¥/l)	稼働率(%)	合理化	規模の経済上限
基準ケース	30	82.2	有	無
規模の経済上限ケース	30	82.2	有	有
低稼働率ケース	30	50	有	無
高価格ケース	50	82.2	有	無
NRELオリジナルケース	30	82.2	無	無
最悪ケース	30	50	無	有

エタノール生産量に対するコスト内訳は表8より固定費4.6円/l、可変費2.1円/l、資源費4.3円/l、輸送費7.2円/l、総支出は18.1円/l、エタノール売却収入30円/lとなる。利益は年間で約83億円となる。

(2) 規模の経済

規模の経済の上限を考慮したケースでは表7よりエタノール生産量でそれぞれ約24万kl、約18万kl、約28万klのプラントを3カ所に建設し、分散化して輸送費を削減する。またプラントの分布は図4より県内に多くのスターチプラントを持つ県を中心としてその周辺の県からパルプを集めてエタノールを製造することがわかる。

各プラントの合計コストは、固定費9.3円/l、可変費2.1円/l、資源費4.3円/l、輸送費4.5円/l、エタノール売却収入30円/l、総支出は20.2円/lとなり総利益は年間で約69億円となる。

6. 結果と考察

6.1 結果

結果を以下に示す。基準ケースのシミュレーション結果を表6、規模の経済の上限ケースの結果を表7、各ケースの結果を表8に示す。表6及び表7は縦の項目を資源輸送の出発点、横の項目を資源輸送の目的地としたキャッサバパルプ輸送量を示している。

また、表7の結果を図4で図示する。表8に各ケースの結果を生産エタノールあたりコストに換算してまとめた。これは各プラントの合計値を総エタノール生産量で除したものである。

6.2 考察

(1) 基準ケース

表6より基準ケースにおいてはタイ国内で発生する全てのキャッサバパルプをキャッサバスターチプラントの最集積地であるNakon Rachasima県(地点1)に運搬し、年間約70万klのエタノールを生産する。

表6 基準ケース結果

	1	2	4	合計(kt-wet/year)
1	1324	0	0	1324
2	588	0	0	588
3	588	0	0	588
4	294	0	0	294
5	221	0	0	221
6	221	0	0	221
7	221	0	0	221
8	147	0	0	147
9	147	0	0	147
10	147	0	0	147
11	147	0	0	147
12	147	0	0	147
13	74	0	0	74
14	74	0	0	74
15	74	0	0	74
16	74	0	0	74
17	74	0	0	74
18	74	0	0	74
19	74	0	0	74
20	74	0	0	74
21	74	0	0	74
22	74	0	0	74
23	74	0	0	74
エタノールプラント規模(Ml/year)	846	0	0	846
生産エタノール量(Ml/year)	694	0	0	694
固定費(M¥/year)	3167	0	0	3167
可変費(M¥/year)	1434	0	0	1434
資源費(M¥/year)	3000	0	0	3000
輸送費(M¥/year)	4985	0	0	4985
総支出(M¥/year)	12586	0	0	12586
総収入(M¥/year)	20872	0	0	20872
総収支(M¥/year)	8286	0	0	8286

表7 規模の経済上限ケース結果

	1	2	4	合計 (kt-wet/year)
1	1324	0	0	1324
2	0	588	0	588
3	0	0	588	588
4	0	0	294	294
5	0	0	221	221
6	0	0	221	221
7	221	0	0	221
8	0	0	147	147
9	0	147	0	147
10	0	147	0	147
11	147	0	0	147
12	0	0	147	147
13	0	0	74	74
14	0	0	74	74
15	0	0	74	74
16	0	74	0	74
17	0	0	74	74
18	0	0	74	74
19	0	74	0	74
20	0	74	0	74
21	0	74	0	74
22	0	74	0	74
23	0	74	0	74
エタノールプラント規模(Ml/year)	286	224	336	846
生産エタノール量(Ml/year)	235	184	276	694
固定費(M¥/year)	2151	1861	2459	6470
可変費(M¥/year)	485	380	570	1434
資源費(M¥/year)	1015	794	1191	3000
輸送費(M¥/year)	958	899	1232	3090
総支出(M¥/year)	4609	3934	5452	13994
総収入(M¥/year)	7060	5525	8287	20872
総収支(M¥/year)	2451	1591	2836	6878

表8 生産エタノール量あたりの各コスト

	基準ケース	規模の経済 上限ケース	低稼働率 ケース	高価格 ケース	NRELオリジ ナルケース	最悪ケース
生産エタノール量(Ml/year)	694	694	696	694	694	184
固定費(¥/l)	4.6	9.3	6.1	4.6	5.9	18.6
可変費(¥/l)	2.1	2.1	2.1	2.1	6.4	6.3
資源費(¥/l)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
輸送費(¥/l)	7.2	4.5	7.2	7.2	7.2	2.5
総支出(¥/l)	18.1	20.2	19.6	18.1	23.8	31.7
総収入(¥/l)	30	30	30	50	30	30
総収支(¥/l)	11.9	9.9	10.4	32.0	6.3	-1.7

注) 最悪ケースではプラントを設置しないことが最適解となるため同ケースの結果は空欄となるが、参考値として地点1にプラント設置を仮定したときの結果を掲載した。

1.3円/l、可変費に関して4.3円/l悪化している。全体の利益は、約44億円に減少する。これらからプロセス合理化の効果が大いことがわかる。

・高エタノール価格

このケースでも資源の輸送及びプラントの規模などに関しては基準ケースと同様である。エタノール価格が高いために収入が向上し、利益が約222億円へと大幅に向上する。

また、表8より各ケースにおける総支出がいずれのケースにおいても大よそ20円/l程度であることから、エタノール価格が20円/l以上であれば、どのケースにおいても大よそ利益が出るということがわかる。

・最悪ケース

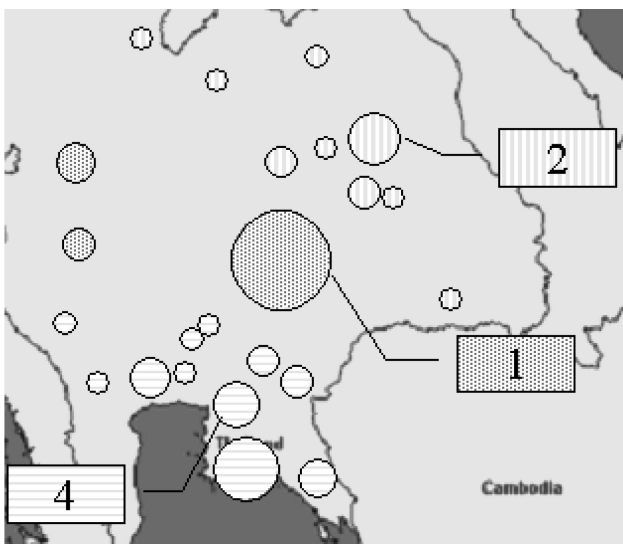
基準ケースに対して低稼働率、プロセス合理化なし、規模の経済の上限ありと経済的に不利な条件を揃えた最悪ケースにおいてはどのように資源を活用しても赤字になるためプラントを建造しないことが経済的に最も合理的であるという結果になった。表8においては参考値として、Nakon Rachasima県にプラントを必ず建造するという条件下での計算結果を掲載する。その場合はNakon Rachasima県内のキャッサバパルプ資源のみを用いてプラントを建造し、収支の改善を図るが約3億円の赤字となる。

7. まとめ

本研究では、タイにおけるキャッサバスターチプラントの配置、キャッサバパルプの資源輸送費及び建設するプラントの規模の経済などを考慮した線形最適化モデルを作成した。そしてそれを用いてタイにおけるキャッサバパルプを用いたエタノール製造プラントの最適な立地、設備数、設備規模、生産エタノール量等を分析した。シミュレーション分析より、以下の結果が得られた。

- (1) エタノール価格が30円/lの時は稼働率が低くともその他の経済的に不利な条件が重ならなければ利益が出る。
- (2) エタノール製造プラントの規模の経済が結果に大きく影響する。規模の経済に上限を設けなければ1カ所の大規模プラント設置が有利となるが、上限を設ければ分散型プラント配置による輸送費の削減が有利になる。

今後は穀類と同様にキャッサバパルプの資源需要が高まり資源費が高騰した状況下での収益性の分析及び輸送モデ



注) 数字はエタノールプラントが建造される県のノード番号である。それぞれ色分けされたグループ毎にキャッサバパルプを集めて、数字で示した県にエタノールプラントをそれぞれ建造する。

図4 規模の経済上限ケース結果図

(3) その他

・低稼働率

このケースでは基準ケースの表6同様パルプ資源全量をNakon Rachasima県に集め、プラントを建造する。稼働率が低い場合プラントの規模が大きくなるが規模の経済の効果のために固定費は基準ケースに対して1.5円/l大きくなる程度にとどまる。利益は10億円程度下がり約72億円となる。

・プロセス合理化なし

このケースでは資源の輸送及びプラントの規模などに関しては基準ケースと同様である。ただし、固定費に関して

ルに関してより詳細な道路網、輸送費を勘案した分析を行う必要があると考えられる。

謝辞 本研究はNEDOのthe International Joint Research Grand Projectの費用でおこなわれました。関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) National Renewable Energy Laboratory (USA), Technical Report ; Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover, (2002).
- 2) Koichi Yamada et al ; Improvement of the Refinement Process for Bioethanol, Journal of the Japan Institute of Energy, 84 (2005), 852-860.
- 3) FAO ; <http://www.fao.org/>
- 4) Thai Tapioca Starch Association ; <http://www.thaitapiocastarch.org/about.asp>
- 5) 福田桂, 井上貴至, 山本博巳, 山地憲治 ; 中四国バイオマスの最適利用モデルの開発, 第24回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, (2005), 245-248.
- 6) 岡部篤行・鈴木敦夫 ; 最適配置の数理シリーズ (現代人の数理), 3 (1992), 12.
- 7) 山本博巳, 福田桂, 井上貴至, 山地憲治 ; 中四国バイオマスの最適利用モデルによるバイオマス広域利用の分析, 第24回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, (2005), 249-252.
- 8) Cassava and Starch Technology Research Unit ; <http://www.cassava.org/>

公 募

(財)東電記念科学技術研究所 平成19年度研究助成(基礎研究・電気エネルギー一般研究)・国際交流技術援助・学生研究奨励奨学金給付 募集概要

〈研究助成(電気・エネルギー一般研究)〉

- ・対 象 : 電気・エネルギーの産業技術に係わる重要あるいはおもしろい課題を発掘し, 広く関係者の研究的関心を引き起こす研究
- ・申 込 資 格 : 所属・年齢に制限なし
- ・助 成 規 模 : 1件あたり総額100万円以内(研究期間 1～2年)とし, 8件程度を採択予定.
- ・申込締切日 : 平成19年6月29日(金)厳守
(予備審査通過後, 11月中旬に本審査用資料の提出が必要)

〈学生研究奨励奨学金給付〉

- ・対 象 : 将来の電気・エネルギー分野の学術・産業に関連する学問を専攻する大学院博士課程学生の研究奨励
(※給付開始は平成20年4月)
- ・申 込 資 格 : ①平成20年度に国内の大学院博士後期課程への進学を希望するもの
②既に博士後期課程1年及び2年に在学中の者
(①, ②ともに募集年度内で28才未満)
- ・給 付 規 模 : 月額 5万円(支給は博士後期課程の最短在籍期間)で, 5名程度を採択予定.
- ・申込締切日 : 平成19年6月15日(金)厳守(最終決定は平成20年3月予定)

※他に研究助成(基礎研究), 国際技術交流援助(海外渡航, 招聘, 滞在)があり, 内容の詳細ならびに申込は下記ホームページを参照.

〔申込・問合せ先〕財団法人 東電記念科学技術研究所 事務局

〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-7-1 有楽町電気ビル北館12階

Tel : 03-3201-2659, Fax : 03-3201-8630

URL : <http://www.tgn.or.jp/trf-zaidan>