



平成20年10月20日

環境の世紀14 ～バイオマスから「環境問題」を考える～

諸外国におけるバイオ燃料生産と食料・環境問題

農林水産省 農林水産政策研究所

加藤 信夫

はじめに

- バイオエタノールの生産はなぜ世界で拡大
 - － エネルギー安全保障
 - － 大気汚染の防止
 - － 農業・農村開発
- 疑問の声も
 - － 食料安全保障への悪影響はないか
 - － 温室効果ガス(GHG)を本当に減らすのか
 - － 土地、水、生物多様性へのリスクはないか
 - － 農業開発面でメリットはあるのか
- 食料と競合しない「第二世代バイオ燃料」への期待

バイオエタノールの製造工程

糖質原料(二糖類など) さとうきび、てん菜など

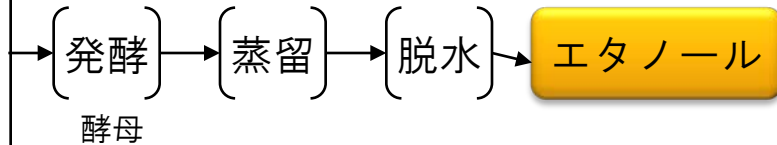
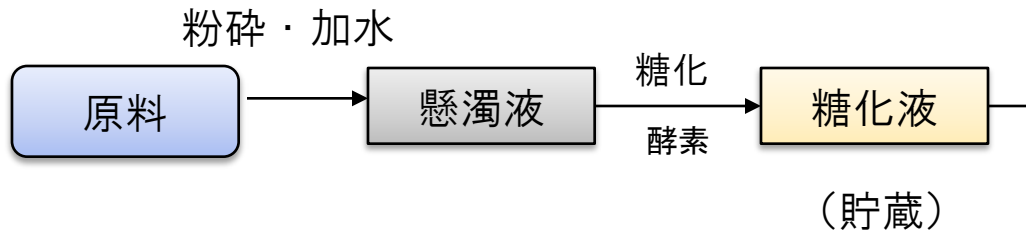


バガス



でん粉系原料(多糖類)※

トウモロコシ、小麦、
キャッサバなど

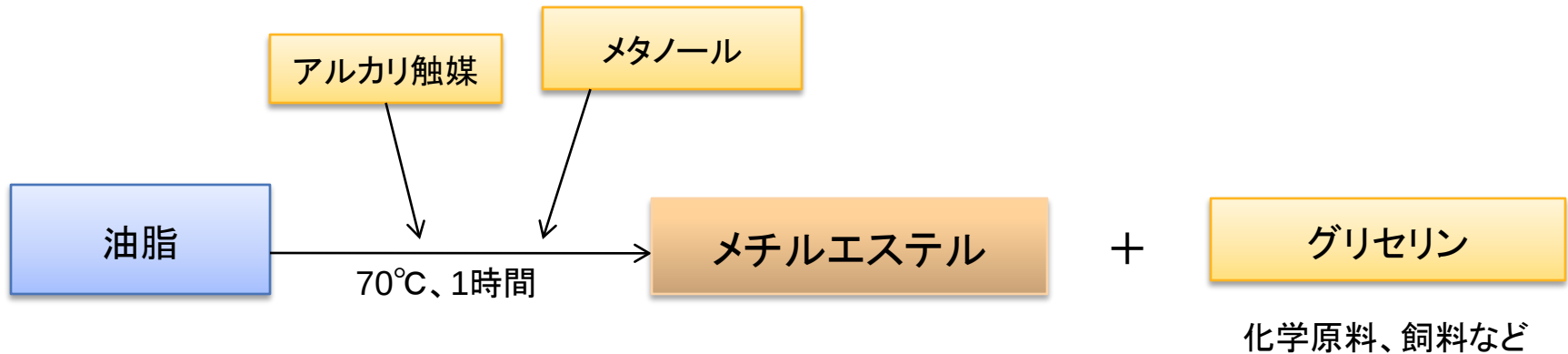


DDG

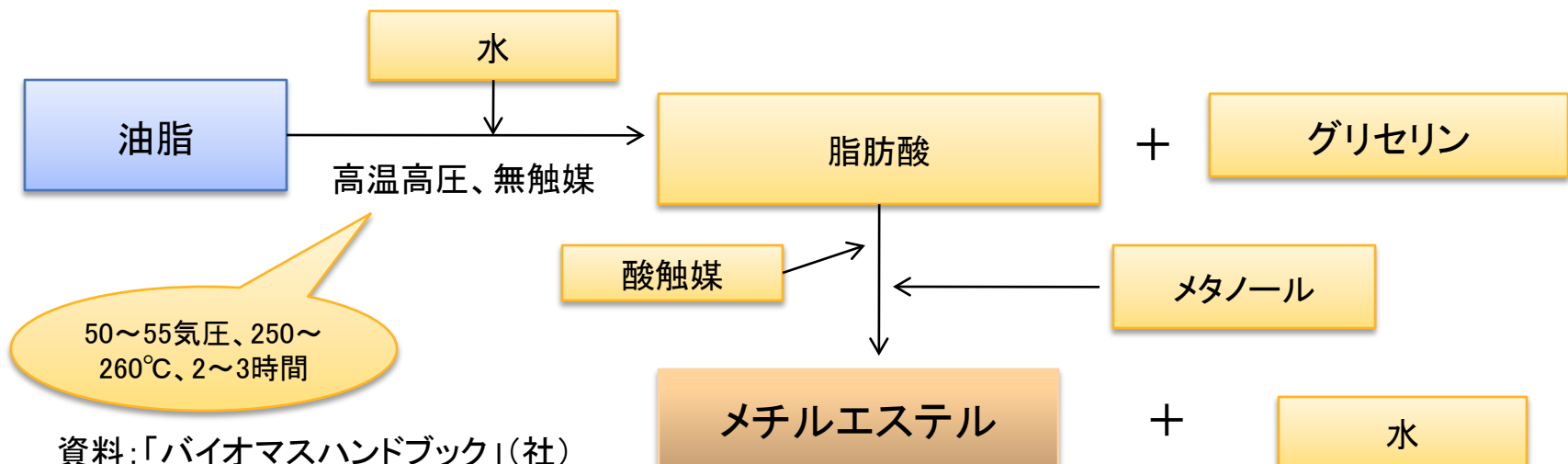
※ 植物原料を粉碎した後、多糖類を単糖類に変換し、発酵微生物でエタノールに変換。

バイオディーゼル(BDF)の基本生産工程

1. 植物油のエステル交換反応

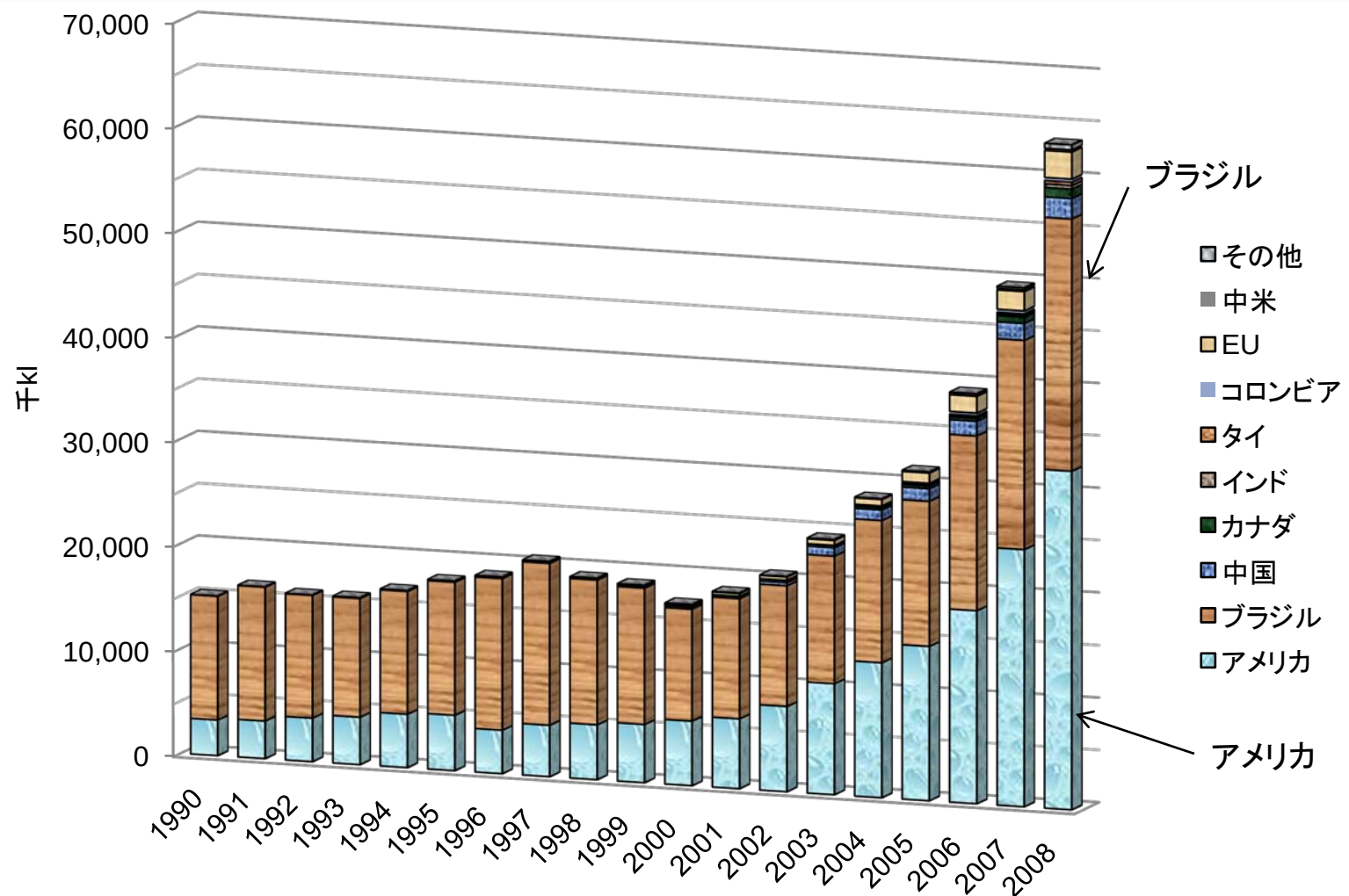


2. 脂肪酸のエステル化



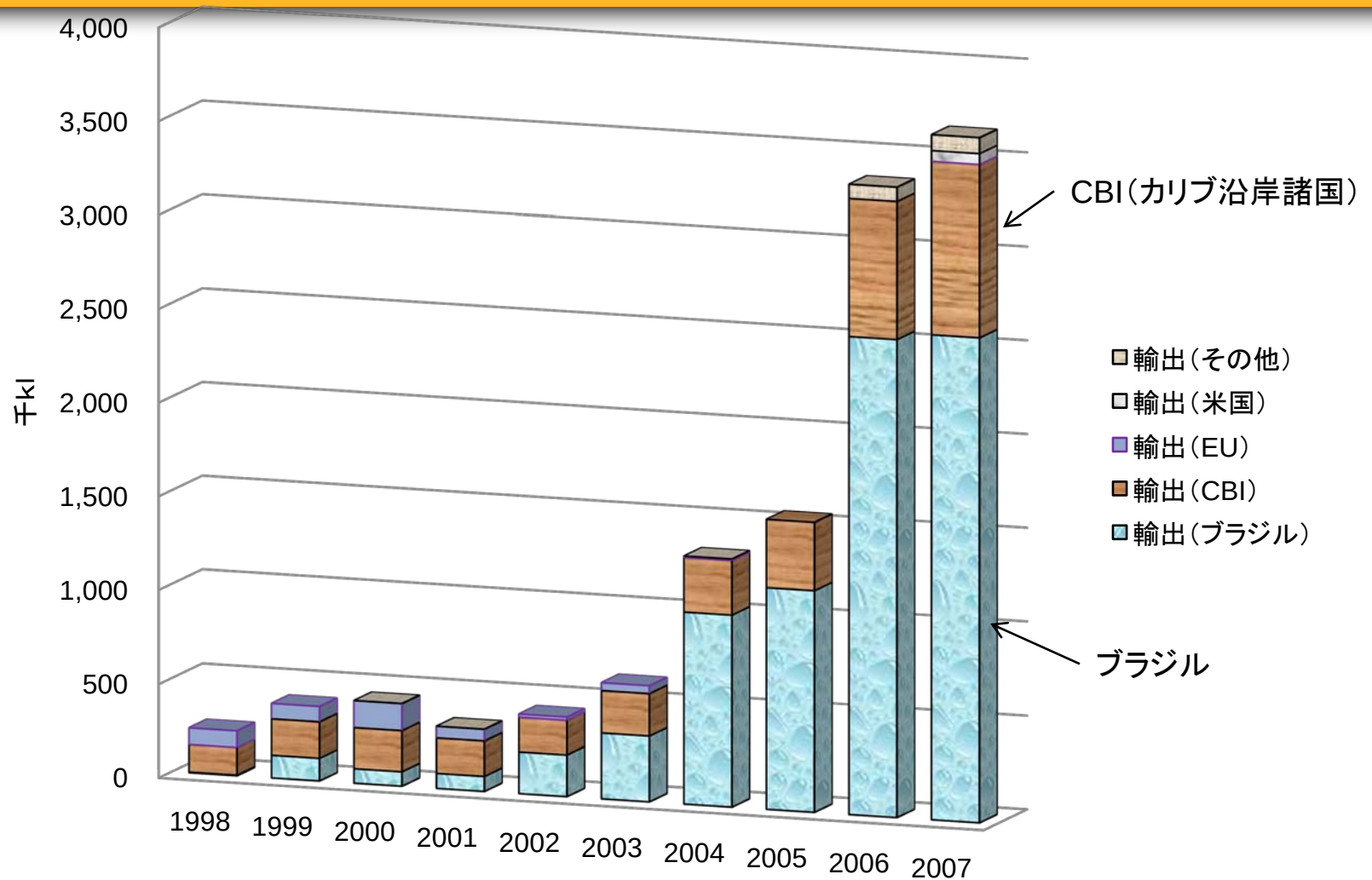
資料:「バイオマスハンドブック」(社)
日本エネルギー学会

燃料用バイオエタノールの生産の推移



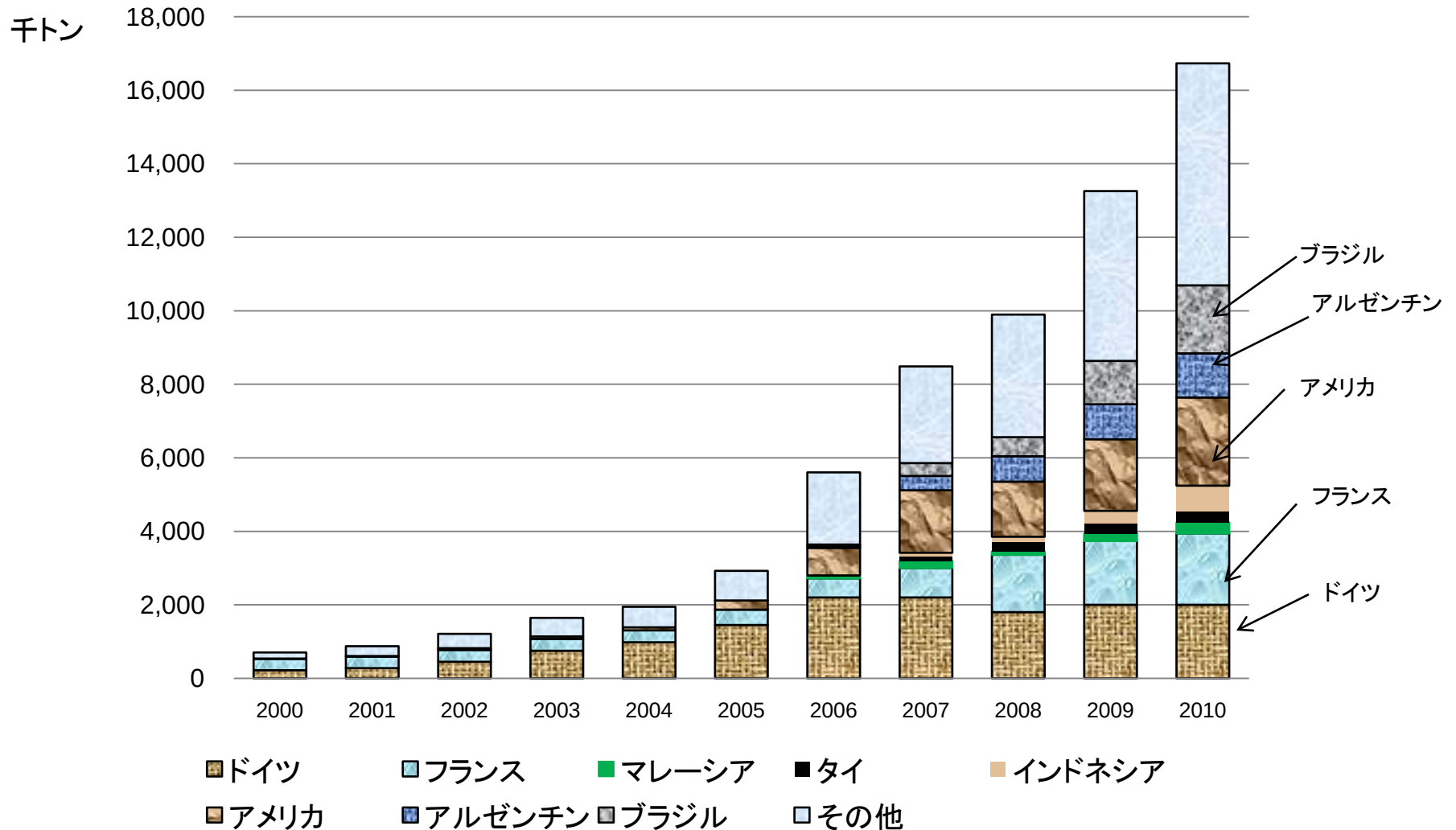
資料: F.O.Licht, World Ethanol & Biofuels Report, May 08, 2008 (P319) を基に作成

燃料用バイオエタノールの輸出の推移



資料: F.O.Licht, World Ethanol & Biofuels Report, May 08, 2008 (P319) を基に作成

バイオディーゼル生産の推移



資料: F.O.Licht's World Ethanol and Biofuels Report, 15.02.2008, P203より作成

世界のバイオ燃料推進策の特徴

Incentives and Mandate

- **アメリカ**: 約60億ドル(2006年)
 - 税制対策、補助金(ハード、ソフト): 連邦、州政府
 - 再生可能エネルギー基準: Renewable Fuel Standard
 - 混合率の義務化(一部の州、E10以下)
 - 国家バイオ燃料計画(2008年10月7日)
- **ブラジル**: 国家アルコール計画に123億ドル(1975～89年)
 - 混合率の義務化(E20～E25)
 - 税制対策(燃料税の減免など)
 - 国家アルコール計画(1975～実施済み)
- **EU**: 約50億ドル(2006年)
 - 税制対策、混合率の努力目標
 - EUレベルの混合率の義務化は検討中

アメリカ：経緯

第一次オイルショック以降、バイオエタノールが注目

1990年： 大気浄化法の改正により、含酸素燃料(MTBE/エタノール)の最低利用(2.7%)を義務付け(特定地域で冬期間)

1997年： 代替材としてバイオエタノールの利用を認可

2004(1月)： カリフォルニア州でMTBEの禁止を決定

2004年： ガソホールに対して51セント/ガロンの物品税控除

2005年： エネルギー政策法により、再生可能燃料基準(RFS)を

2006年の40億ガロンから2012年の75億ガロンに拡大

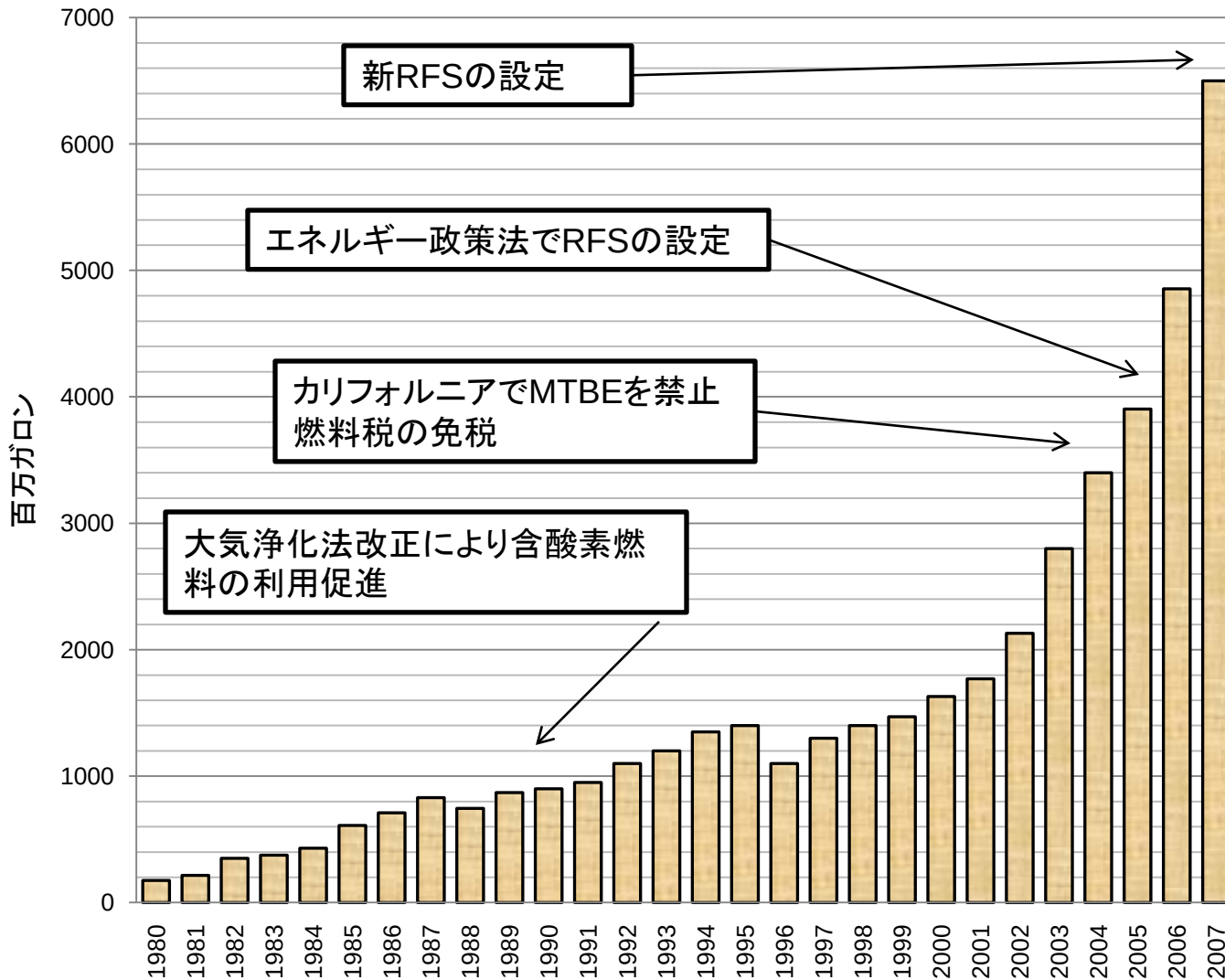
2007年12月： 新RFSとして2022年までに360億ガロンまで拡大

アメリカの主な連邦政府の政策

RFS(再生可能燃料基準)	90億ガロン(2008年)→360億ガロン(2022年) うちとうもろこし由来分:90億ガロン(2008年)→150億ガロン(2015年～2022年)		
エタノール混合ガソリンの物品税控除 (対ブレンダー)	51セント/ガロン →45セント	14円/リットル 13円	～2008年12月末 2009年1月～
セルロース原料バイオ燃料の所得税控除	1.01ドル/ガロン	29円/リットル	
エタノールの輸入関税(2次税率)	54セント/ガロン	15円/リットル	2010年12月末まで
小規模エタノール工場の所得税控除	10セント/ガロン	3円/リットル	
E85給油施設の設置費用にかかる所得税控除(30%)			
商業的規模の先進的バイオ燃料精製施設の建設・改築を行う事業者への借入保証 (2009年度:7,500万ドル、2010年度:2.45億ドル)			
農場段階で再生可能燃料の生産・利用設備を導入する場合の補助・融資			

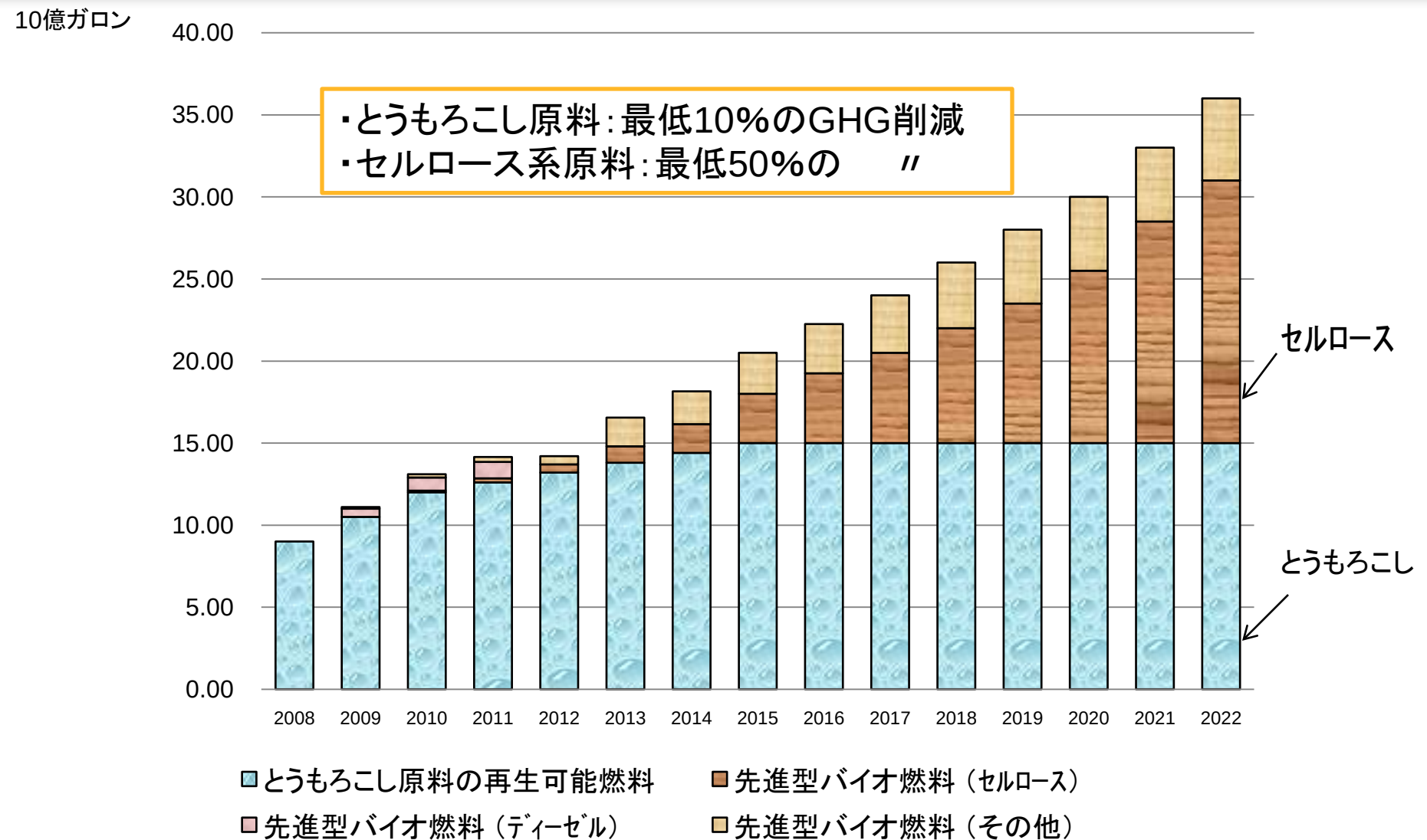
(注)1ドル:107円、1ガロン:3.785Lで換算

アメリカのエタノールの生産動向



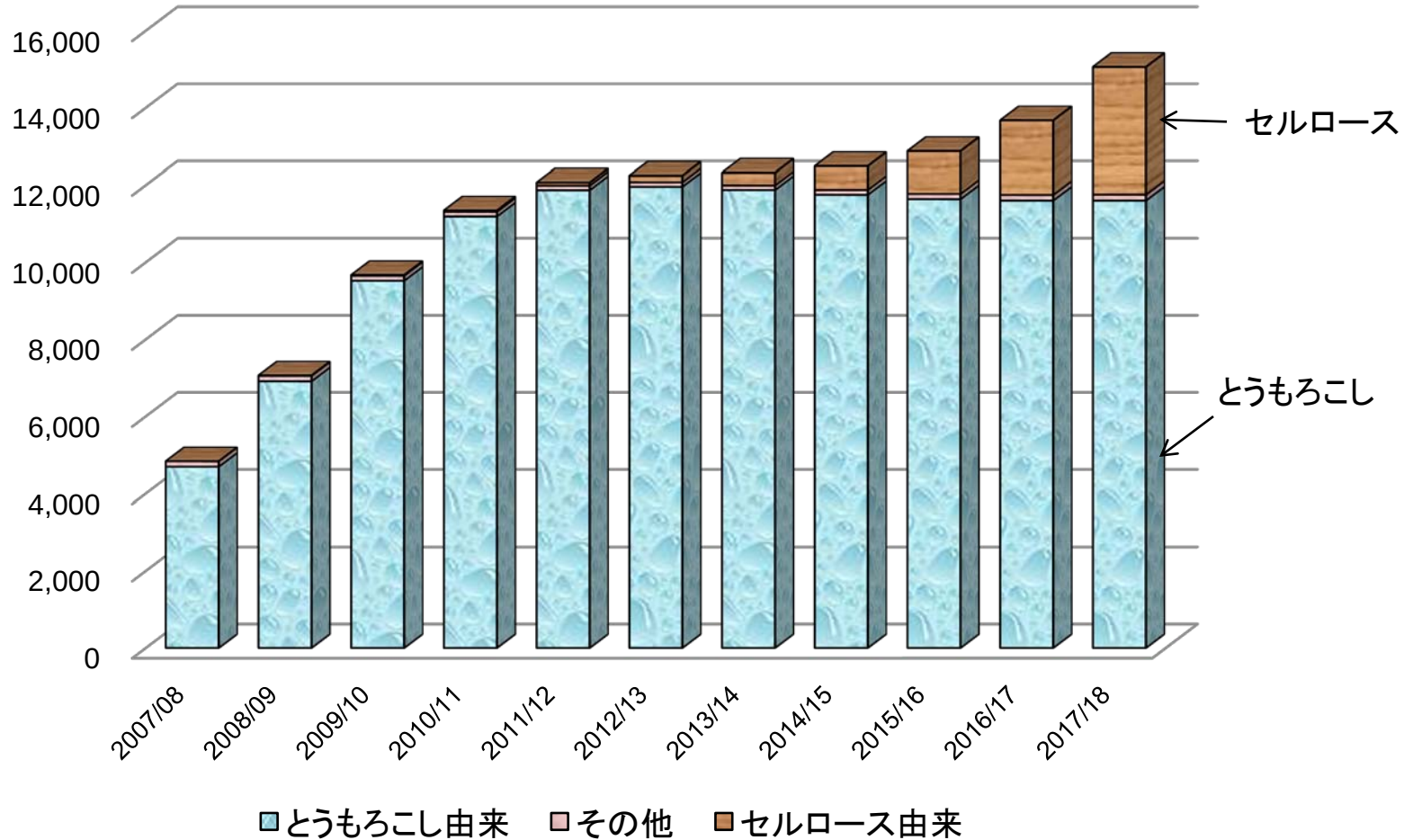
資料: RFA

再生可能燃料基準 (RFS)



エタノール生産と使用原料予測

百万ガロン



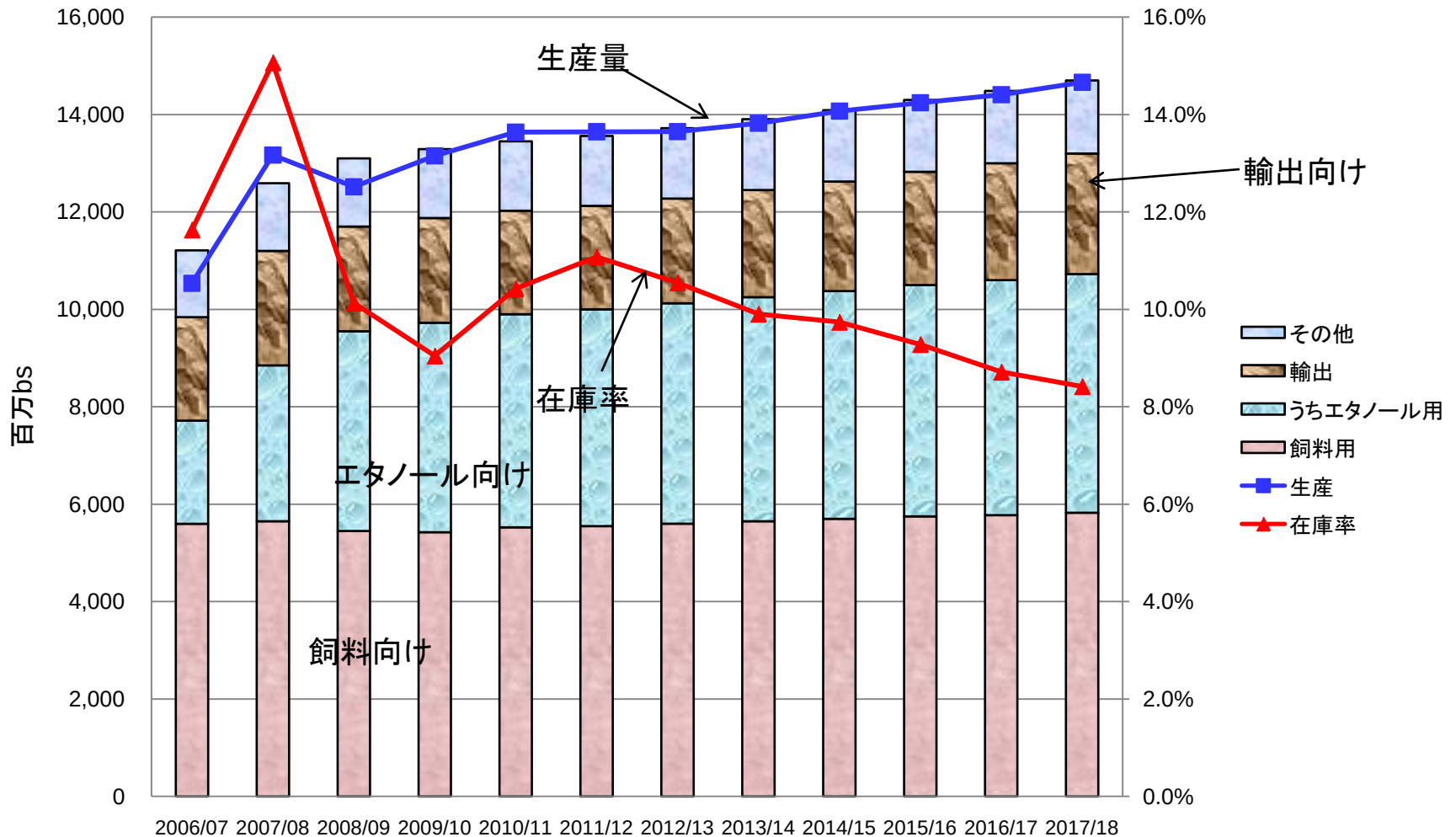
資料: Food and Agricultural Policy Research Institute, "USDA Baseline Briefing Book, Projections for agricultural and biofuel markets, March 2008, P13"より作成

アメリカのとうもろこしの需給

		2001/02	2008/09	増減(%)
生産量	百万bu	9,503	12,072	27.0
収穫面積	百万エーカー	72.44	79.29	9.5
単収	bu/エーカー	136.90	152.30	11.2
需要量	百万bu	9,815	12,645	28.8
飼料用	百万bu	5,864	5,200	-11.3
エタノール用	百万bu	706	4,100	480.7
輸出用	百万bu	1,900	2,000	5.3
その他用	百万bu	1,345	1,345	0.0
在庫率	%	16.3	8.0	-50.5

資料: USDA ERS Feed Grains Database(2008年9月時点)より作成

アメリカのとうもろこしの需給予測



アメリカのエタノール工場の分布図

稼働中工場: 175、10,590百万ガロン
拡張中: 671百万ガロン
建設中工場: 29、2,506百万ガロン 2008年10月6日現在(RFAより)

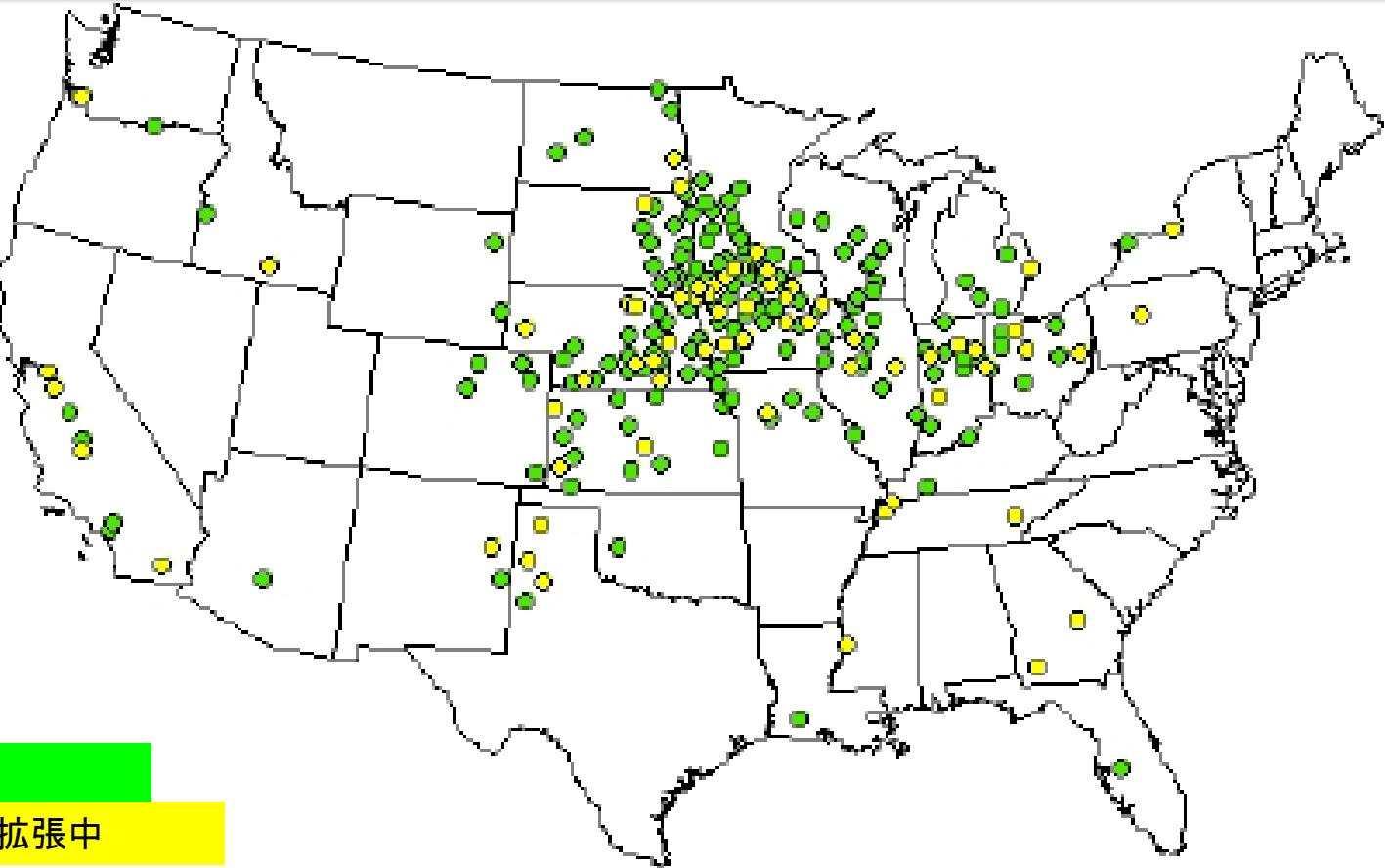
2008年1月現在

・農家所有工場数:

40 (約40%)

・非農家 " : 102

・農家所有工場の生産能力のシェアは、
約25%

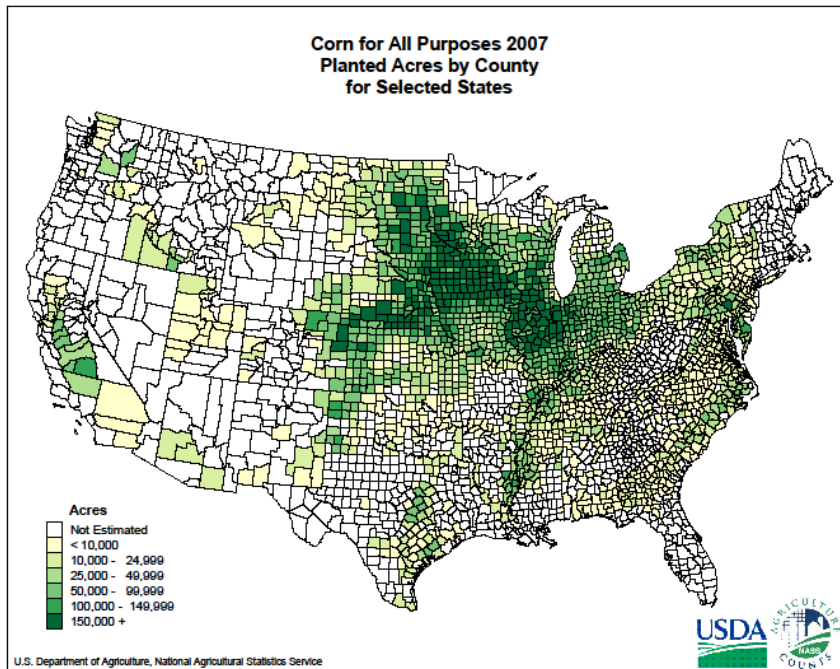


(緑)稼働中

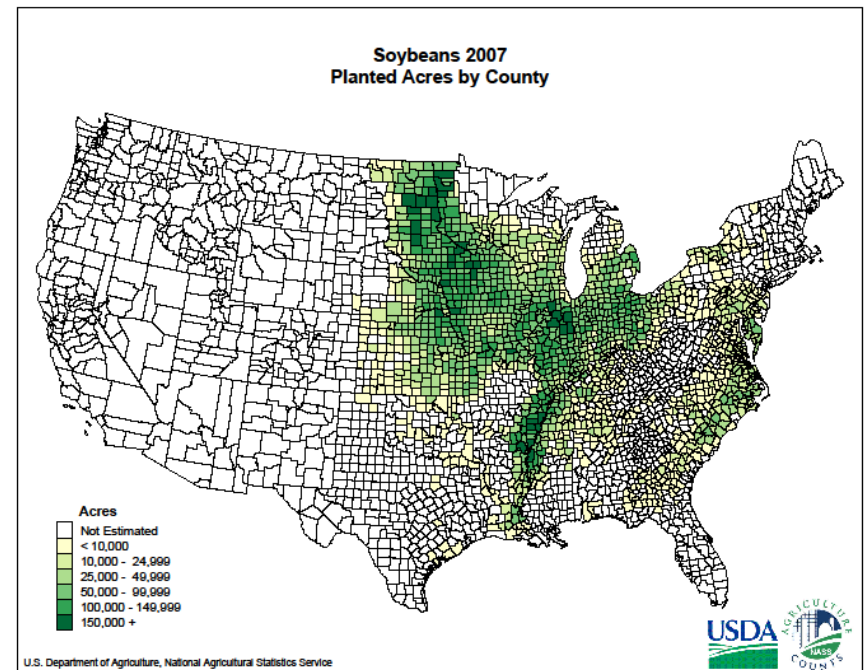
(黄)建設中／拡張中

資料: CARD <http://www.card.iastate.edu/research/bio/tools/ethanol.aspx>
2008年5月26日現在

とうもろこしと大豆の作付地域(2007年)



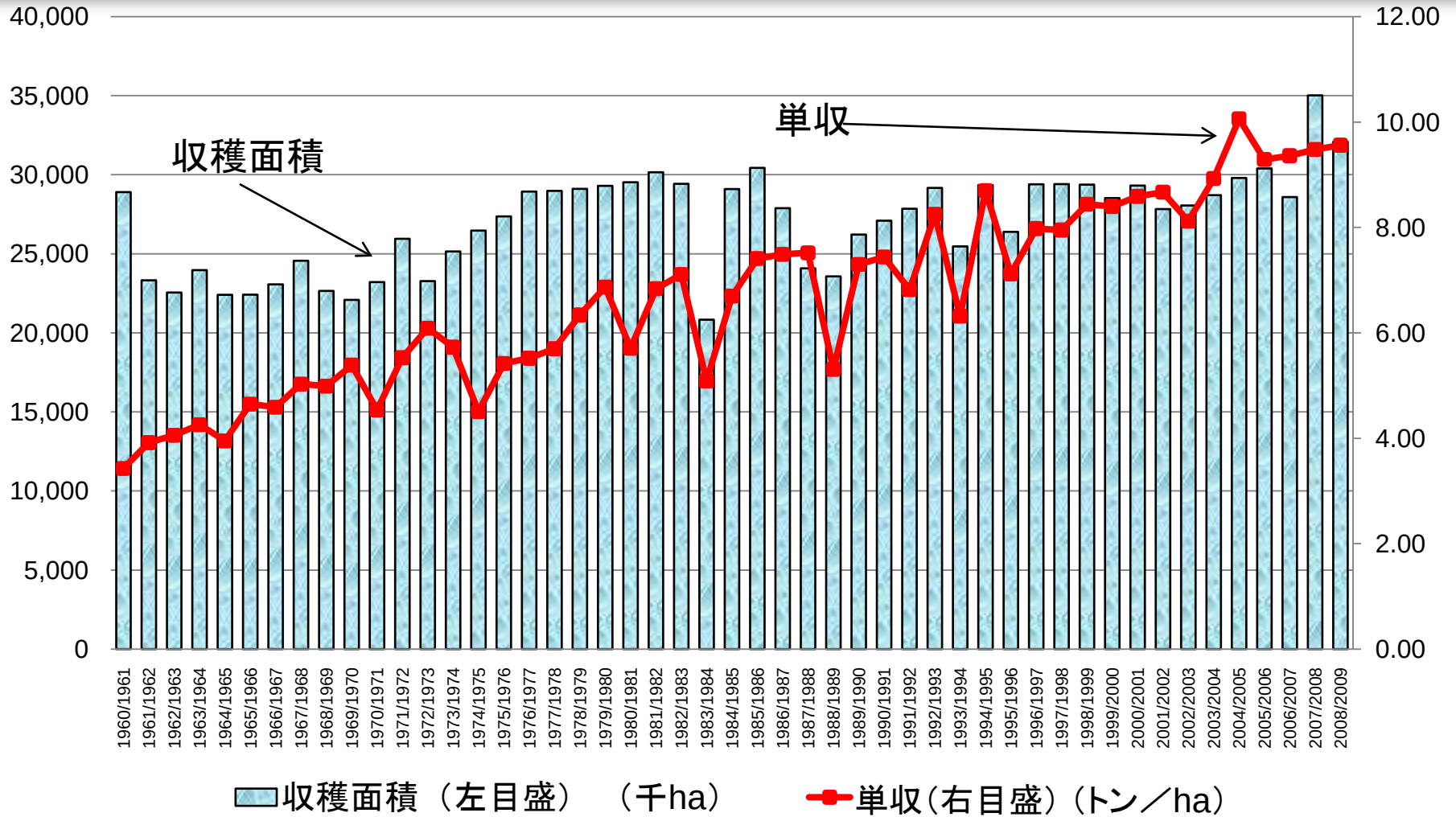
とうもろこし



大豆

資料: USDA NASS Charts and Maps, Country Maps

アメリカのとうもろこしの収穫面積と単収



資料: USDA PSD-online 2008年9月時点

2007/08は速報値、2008/09は予測値

遺伝子組替作物(GM)の普及率

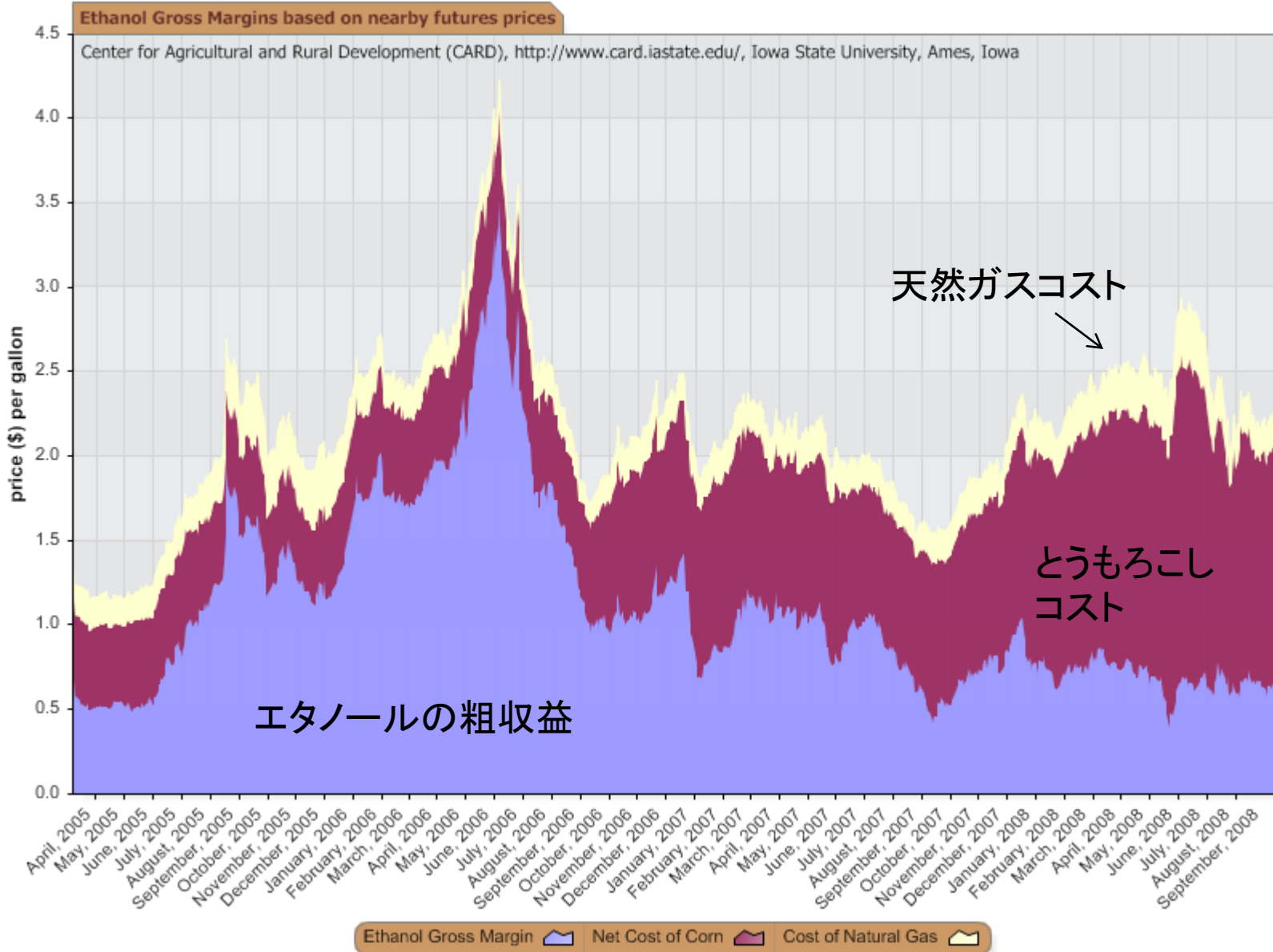
%

	とうもろこし				大豆
	害虫抵抗性(Bt)	除草剤抵抗性	スタック品種 (Stacked Gene Var.)※	計	除草剤抵抗性
2000	18	6	1	25	54
2001	18	7	1	26	68
2002	22	9	2	34	75
2003	15	11	4	40	81
2004	27	13	5	45	85
2005	26	17	9	52	87
2006	25	21	15	61	89
2007	21	24	28	73	91
2008	17	23	40	80	92

資料: USDA NASS Acreage, June 30, 2008等の年報を基に筆者が作成

※ 複数の遺伝子を組み込んだ品種

エタノール工場のマージン



アメリカのガソリンとエタノールの推定消費量

単位：千ガロン(ガソリン等量)

	2003	2004	2005	2006
ガソリン (a)	135,330,000	138,238,000	138,723,000	140,146,000
ガソリン中の エタノール (b)	1,919,572	2,414,167	2,756,663	3,729,168
b/a (%)	1.4	1.7	2	2.7
MTBE	2,368,400	1,877,300	1,654,500	435,000

資料：EIAの自動車燃料の推定消費量の表から筆者が作成

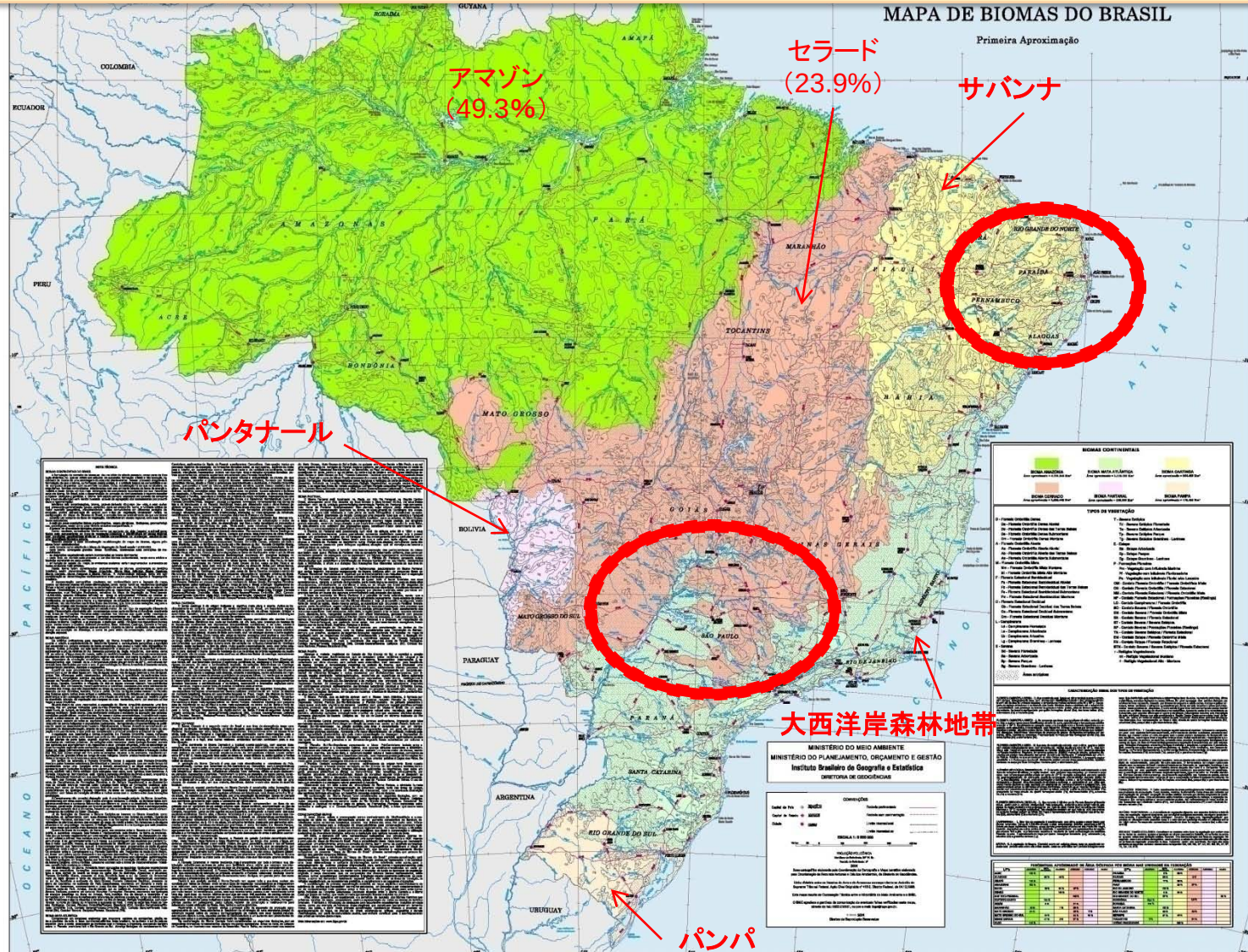
ブラジル：経緯

- 1933年の砂糖・アルコール院(IAA)の設立
 - 砂糖・エタノール市場への本格的な政府介入
- 1973年の第一次オイルショック(約80%の石油依存度、対外債務の拡大)
- 1975年に**国家アルコール計画**を開始
 - エタノール価格の保証(エタノール価格<ガソリン価格)
 - ガソリンへのエタノールの混合義務
 - 国営石油会社(ペトロブラス社)にエタノールの販売独占と一部流通独占権
 - エタノール製造者へのインセンティブ(低利融資、信用保証)
 - エタノール専用車購入への税制面の優遇措置、等
- 1980年後半の石油価格の下落、財政難等→1990年のIAAの廃止以降、規制緩和が進展

プロアルコール政策には、1975年～1989年の間、123億ドルの資金が投入

ブラジルの地形とさとうきび栽培地

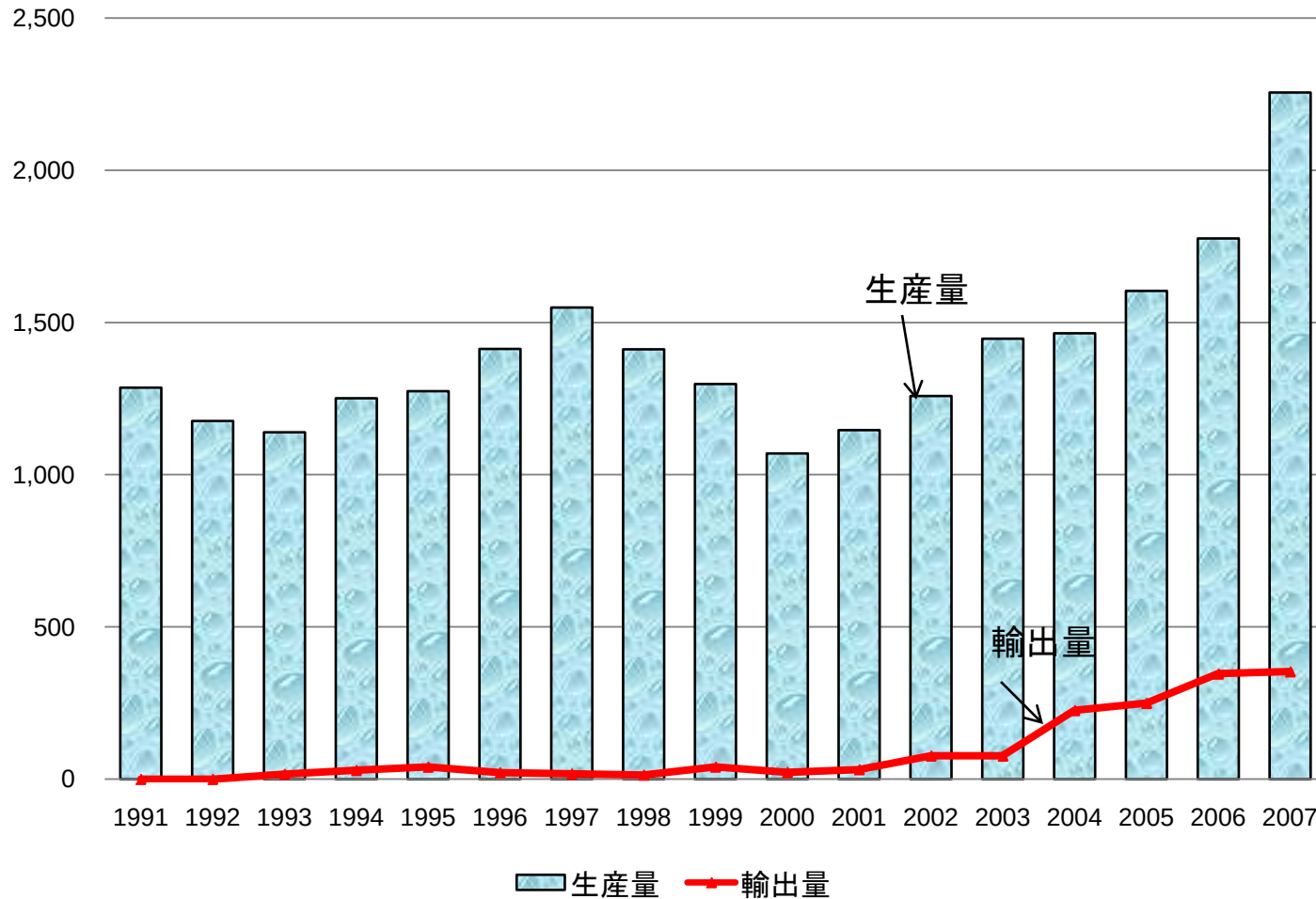
南中部のさとうきび生産シェアは88%。うちサンパウロ州は約60%（2007/08年）



地図: IBGE、Mapa de Biomass

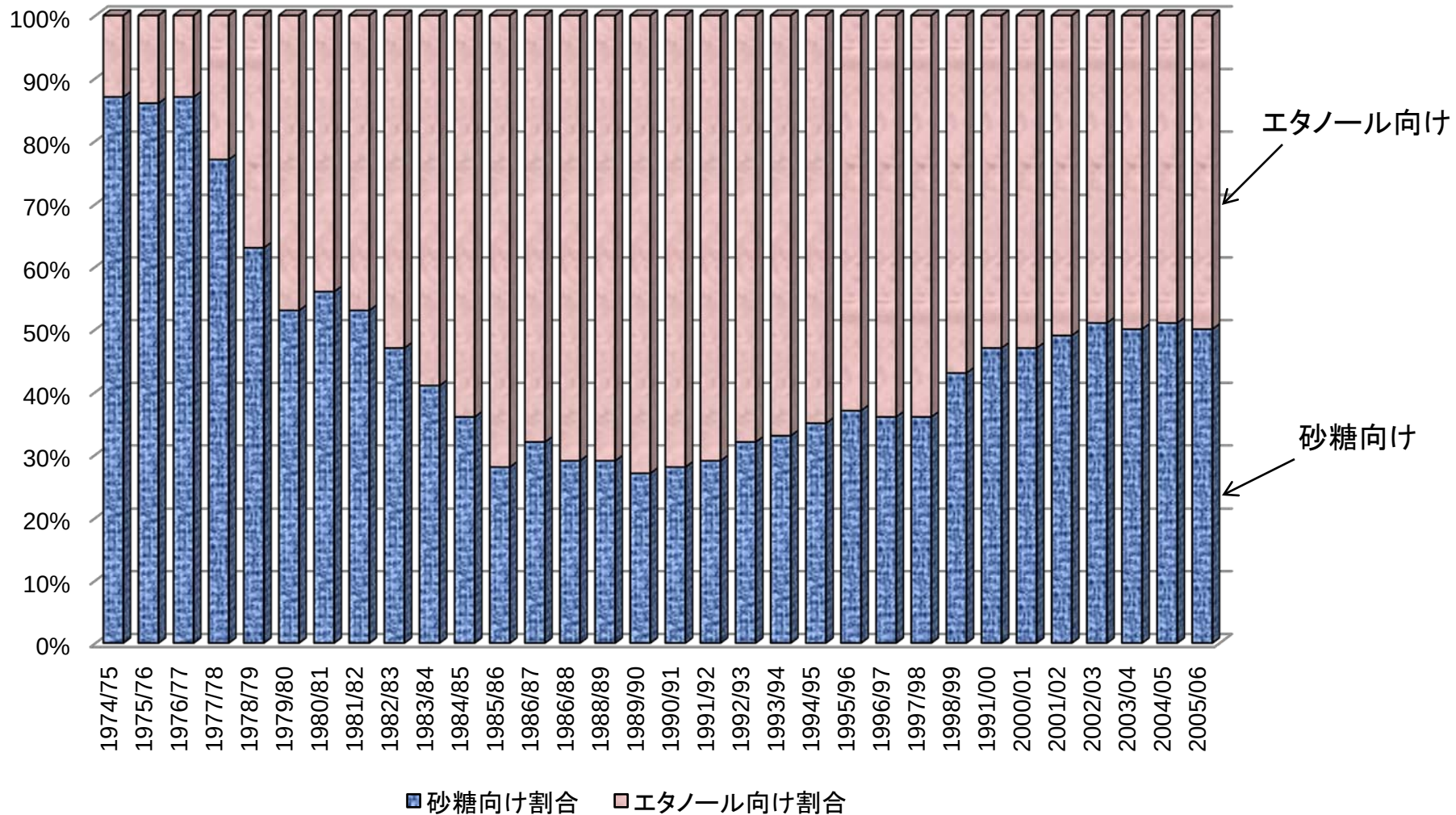
ブラジルのエタノールの生産・輸出動向

万kl

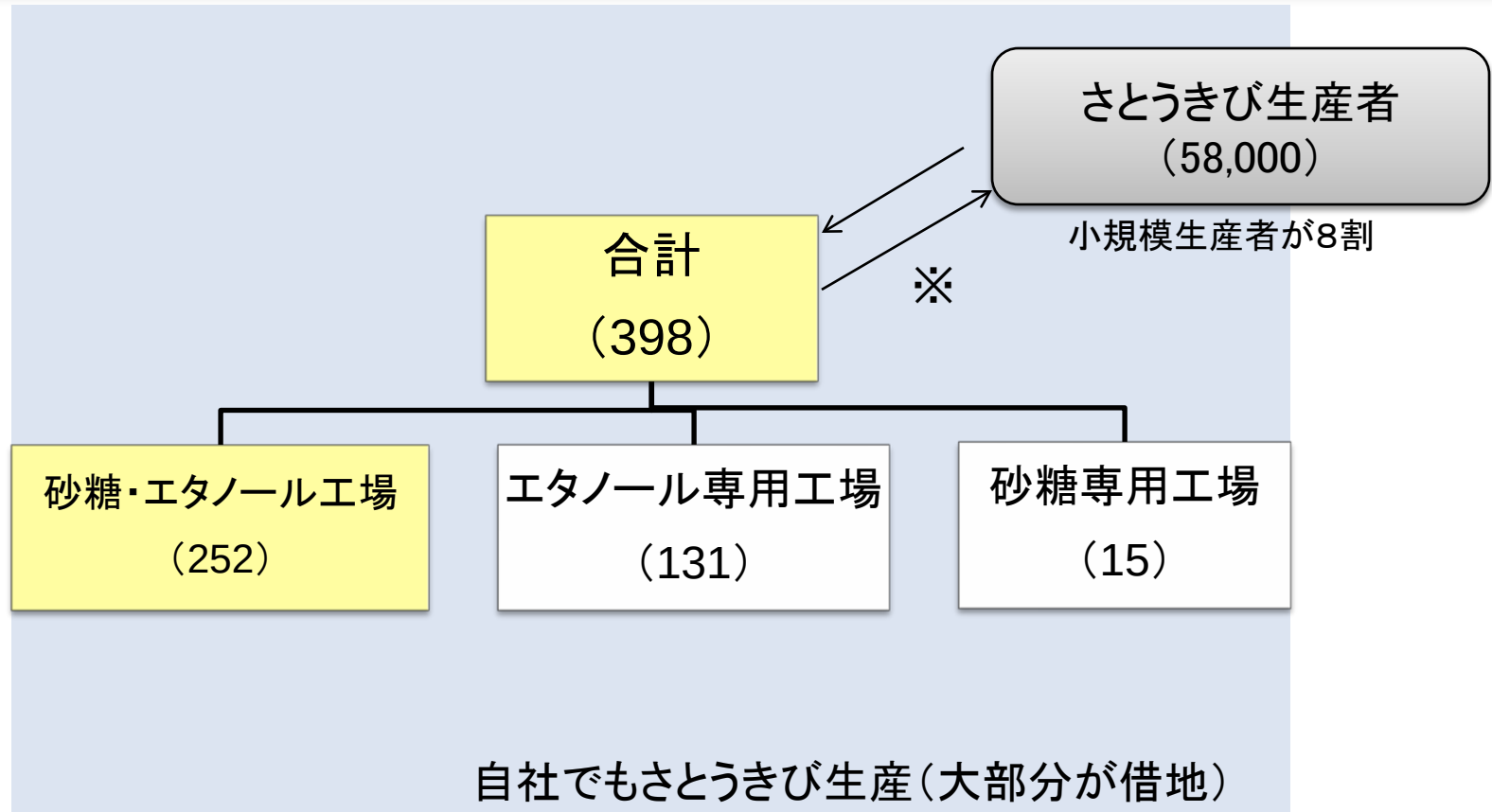


資料: ブラジル鉱山動力省(MME)、Brazilian Energy Balance 2007、2008

さとうきびの砂糖とエタノール向け比率



エタノール工場の形態



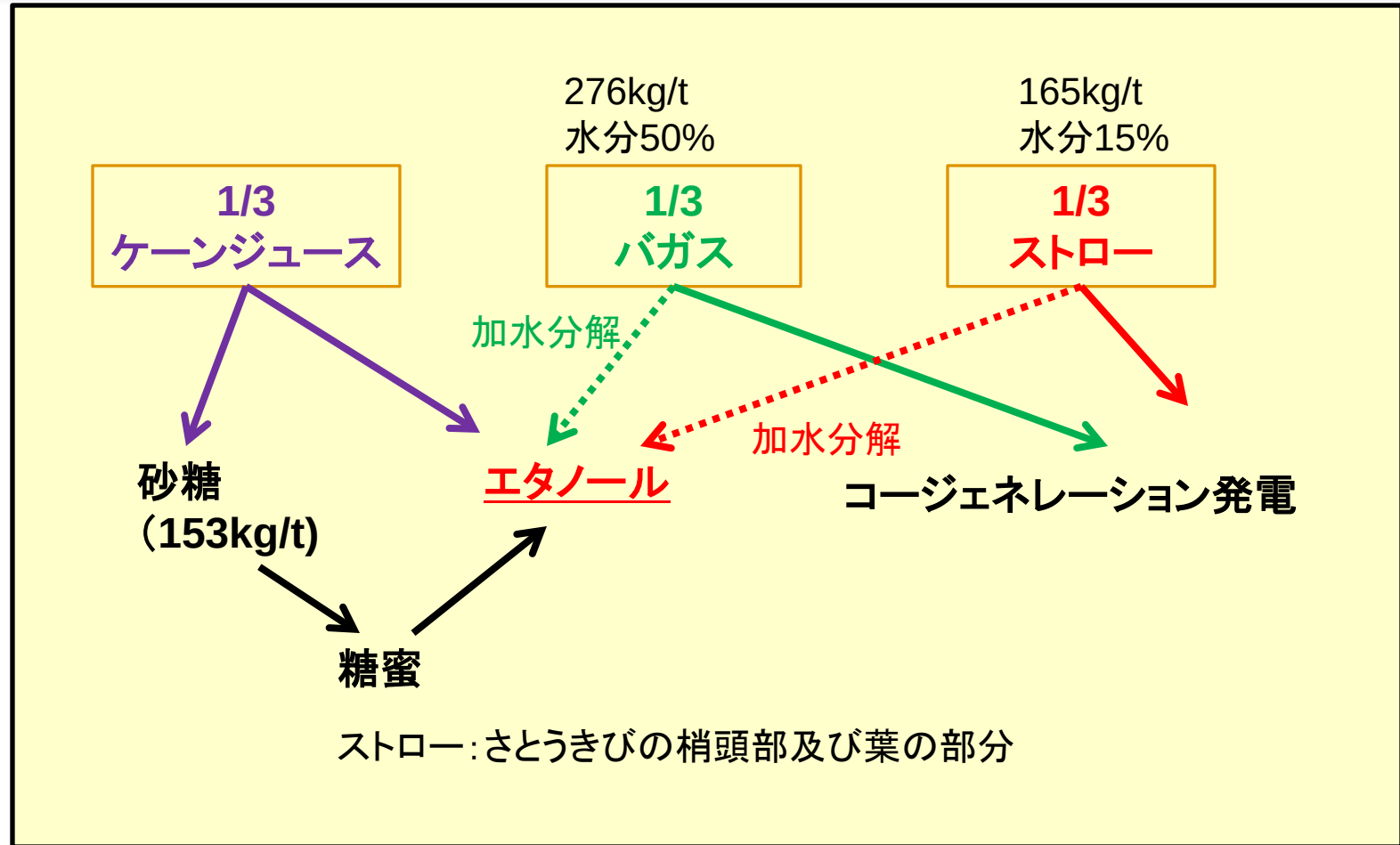
エタノール工場と製糖工場数(2008年7月11日現在)

※砂糖とエタノール販売から得た総収益を生産者に分配。単価はATR(さとうきび糖度重量)を基に決定。

さとうきび産業の粗収入の内訳

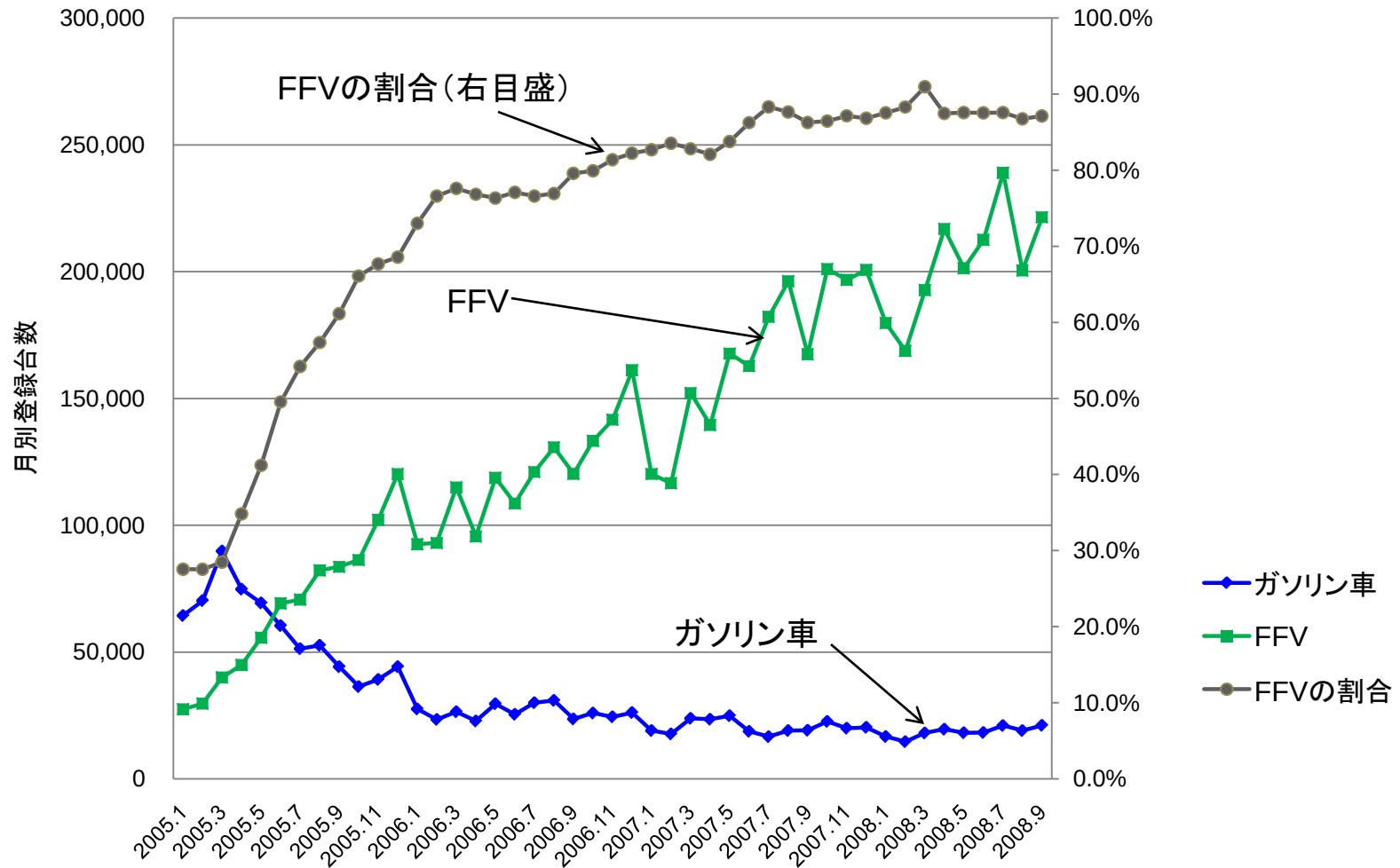
- 砂糖・エタノールの粗収入(2007/08年)
 - － 約200億ドル
 - 54%: エタノール販売
 - 44%: 砂糖販売
 - 2%: バイオ電力販売
 - 資料: UNICA Sugarcane Industry in Brazil

エネルギー源としてのさとうきび



FFV(フレックス車)の月別登録台数の推移

2007年末までにFFVは450万台販売し、普及率は約20%



資料: ANFAVEA(自動車工業会)"Carta da ANFAVEA"月報より

注: 数値はPassenger carsとlight commercialsの合計登録台数

EU: 経 緯

- 2003 年: EUバイオ燃料指令 (2005年:2%、2010年:5.75%)
 - 加盟国での優遇税制措置等の採用を是認 (エネルギー税制指令)
- 2004 年: 加盟国における2005 年の導入目標の設定
- 2005 年: 加盟国のバイオ燃料の利用状況の報告
 - 予定どおり進まず: 2005年:1%、2010年:4.2%
- 2006 年: 欧州委員会の評価→2003年指令を見直し
- 2007 年(3月): バイオ燃料利用目標の義務化等を是認
- 2008 年(1月): 実行指令案(パッケージ提案)の公表

欧州理事会(2007年3月)の是認事項

2020年義務目標

- ・ 目標を義務化(binding)することは、生産を自立的なものとする。
- ・ 第2世代バイオ燃料の商業生産も重要

- 温室効果ガスを1990 年比で30%削減
- 第一次エネルギー使用中、再生可能エネルギーの割合を最低20%に引き上げ
- 輸送部門のガソリンとディーゼルの総消費に占めるバイオ燃料の比率を最低10%に引き上げ
- エネルギー効率の向上によりエネルギー消費を20%削減

サステナビリティ基準 (Sustainability Criteria) 案

- ①バイオ燃料の利用により化石燃料と比べてGHGを最低35%削減すること、②生物多様性が高い土地でバイオ燃料を生産しないこと、③炭素固定能力が高い土地でバイオ燃料を生産しないこと、④すべてのEU産のバイオ燃料は関連の環境基準に合致(cross compliance)すること
- 生物多様性が高い土地とは、未開の森林、自然保護指定地域、生物多様性が高い草地であり、他方、炭素固定能力が高い土地とは、湿地帯や持続的な森林
- 欧州委員会は、2010年12月末までに具体的な持続可能基準について報告

基準に合致したバイオ燃料のみが政策支援の対象で、10%義務の数量にカウントできる

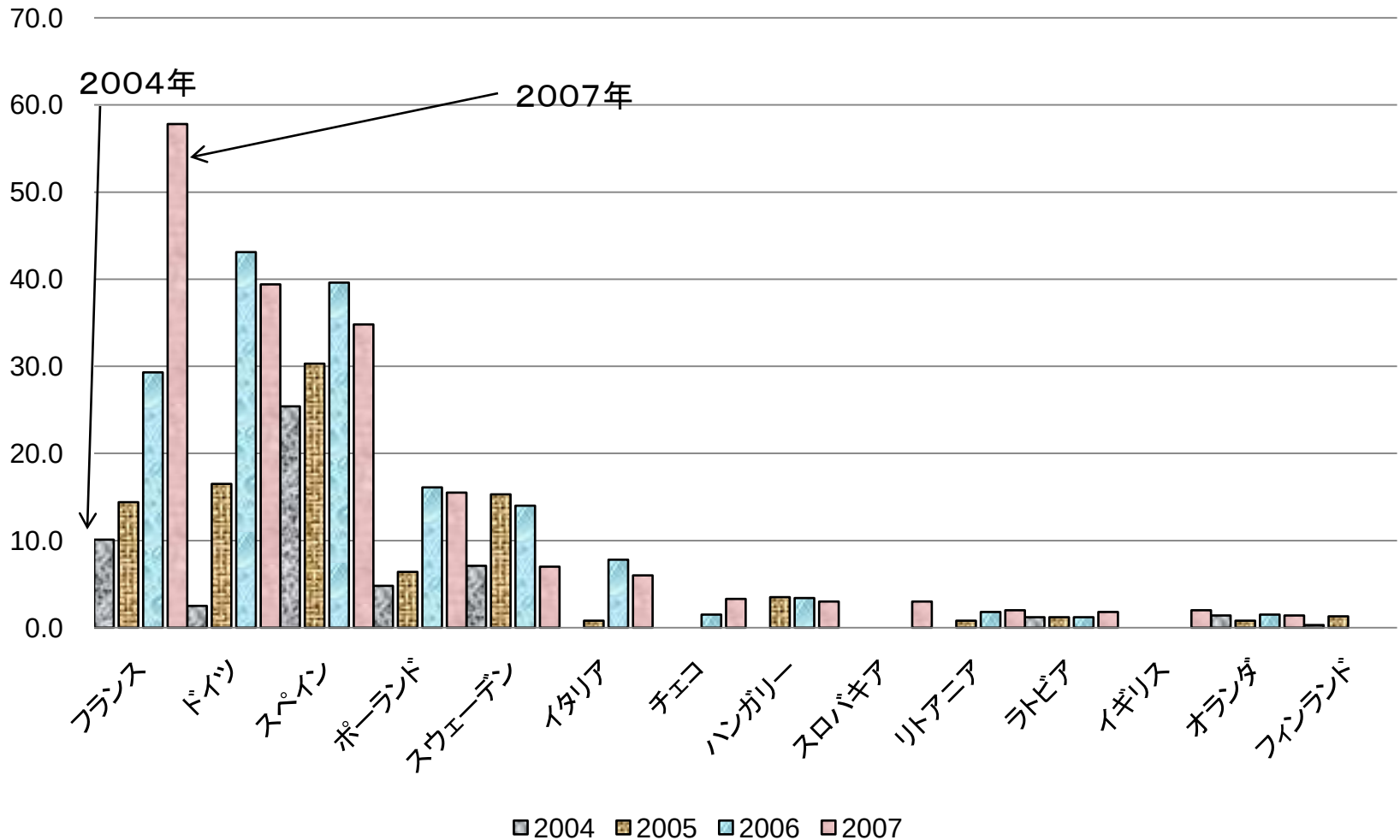
- サステナビリティ基準の認証制度については、一義的には加盟国の責任において実施されるが、自主的な認証制度、関連の国際合意、GHG削減測定制度などはEU委員会の承認を受けることができる。
- モニタリングと報告については、加盟国は土地利用の変更、食料価格の変化と食料の利用可能状況、バイオ燃料のコスト・利益、バイオ燃料の輸入制度、持続可能性や開発にかかる問題、採用した是正措置についての報告を2年ごとに欧州委員会に行う。
- GHGの削減測定方法については、土地利用の変化にも考慮し、LCAにより化石燃料と比較しつつ実施する。

最近の動き

- 2008年9月11日に開催された欧州議会の工業委員会では以下の点に合意
 - バイオ燃料の利用度を2020年までに10%に義務づけるとする欧州委員会の提案は承認。ただし、**そのうち4%分は第2世代バイオ燃料、電気または水素由来の燃料**とする。
 - 2015年の利用度を5%（うち1%分は第2世代バイオ燃料）とする中間目標を設定
 - 2020年の10%目標は2014年にレビュー
 - GHGの最低削減率は**45%**とし、2015年以降は**60%**とする（欧州委員会原案は35%削減）
 - **社会的サステナビリティ基準**（地域コミュニティの土地権利の尊重、すべての作業員への公正な報酬等）を新たに導入

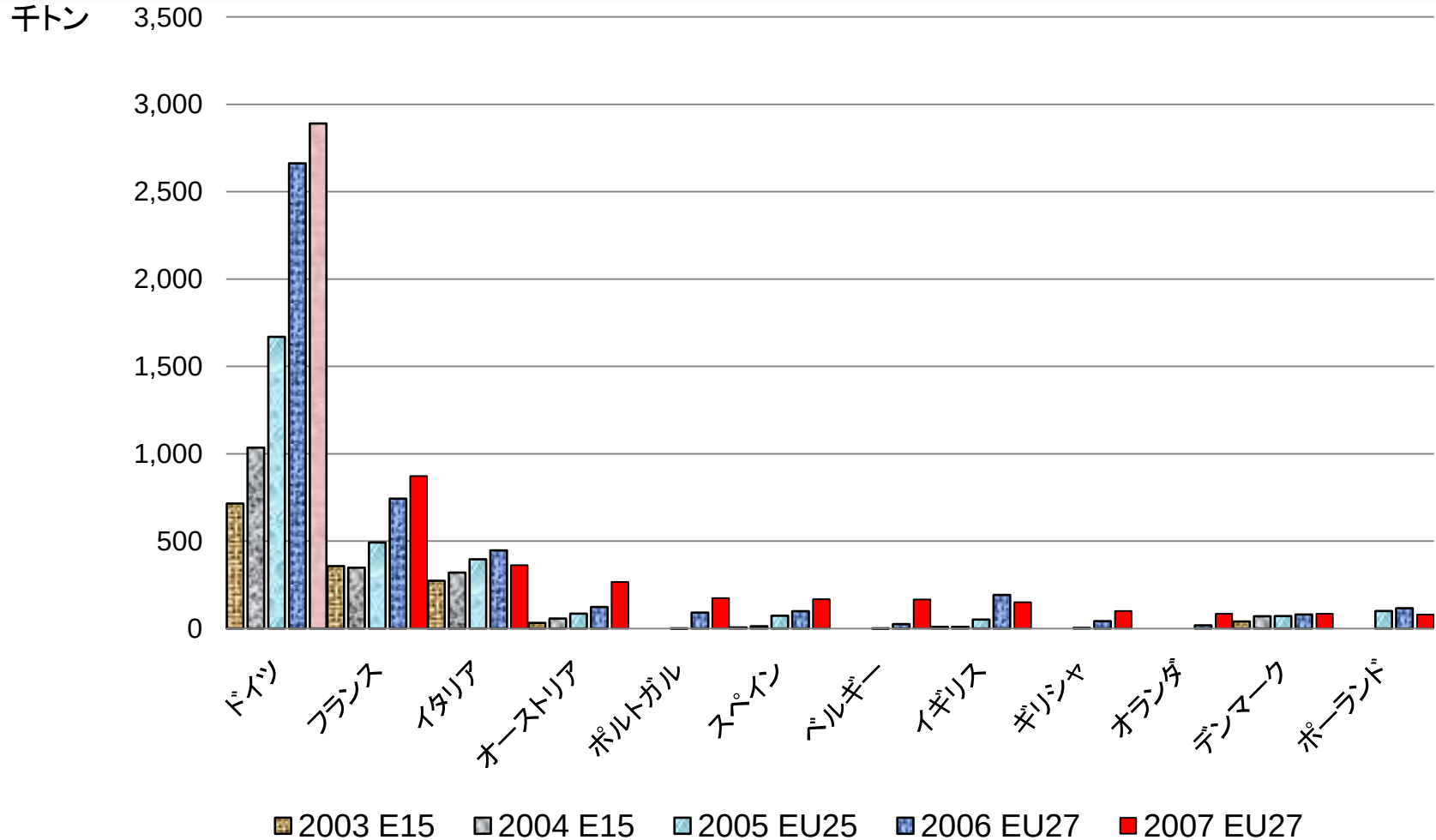
EUのバイオエタノール生産

万kl



資料:eBIO(2008年6月2日更新)

EU主要国のバイオディーゼルの生産



資料: EBB

種類別原料の土地利用の予測

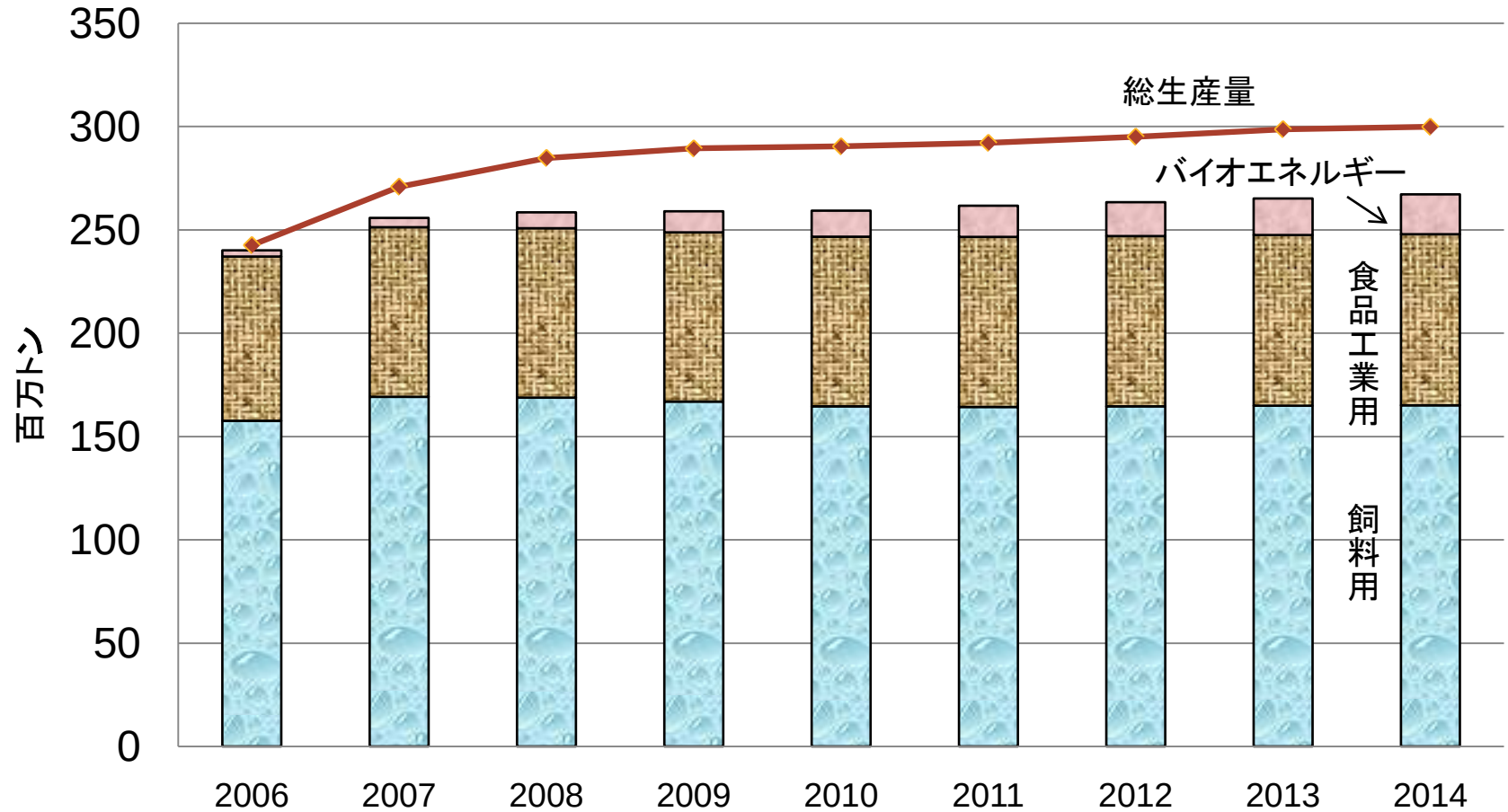
	2006年		2020年	
	エタノール	ディーゼル	エタノール	ディーゼル
穀物	0.9	—	7.1	—
第二世代原料	—	—	5.2	—
油糧種子	—	2.1	—	2.9
てん菜	0.1	—	0.6	—
BTL	—	—	—	1.7
計	1.0	2.1	12.9	4.6
バイオ燃料利用合計面積	3.1		17.5	
全耕地面積に占める割合	3%		15%	
休耕地（義務的休耕地 遊休地）	7.2（6%）		4.7（4%）	
その他	36.9（32%）		36.6（32%）	

単位：百万ha

資料：「Impact of a minimum 10% obligation for biofuel use in EU-27 in 2020 on agricultural markets (DG Agri in April 2007)」を基に作成

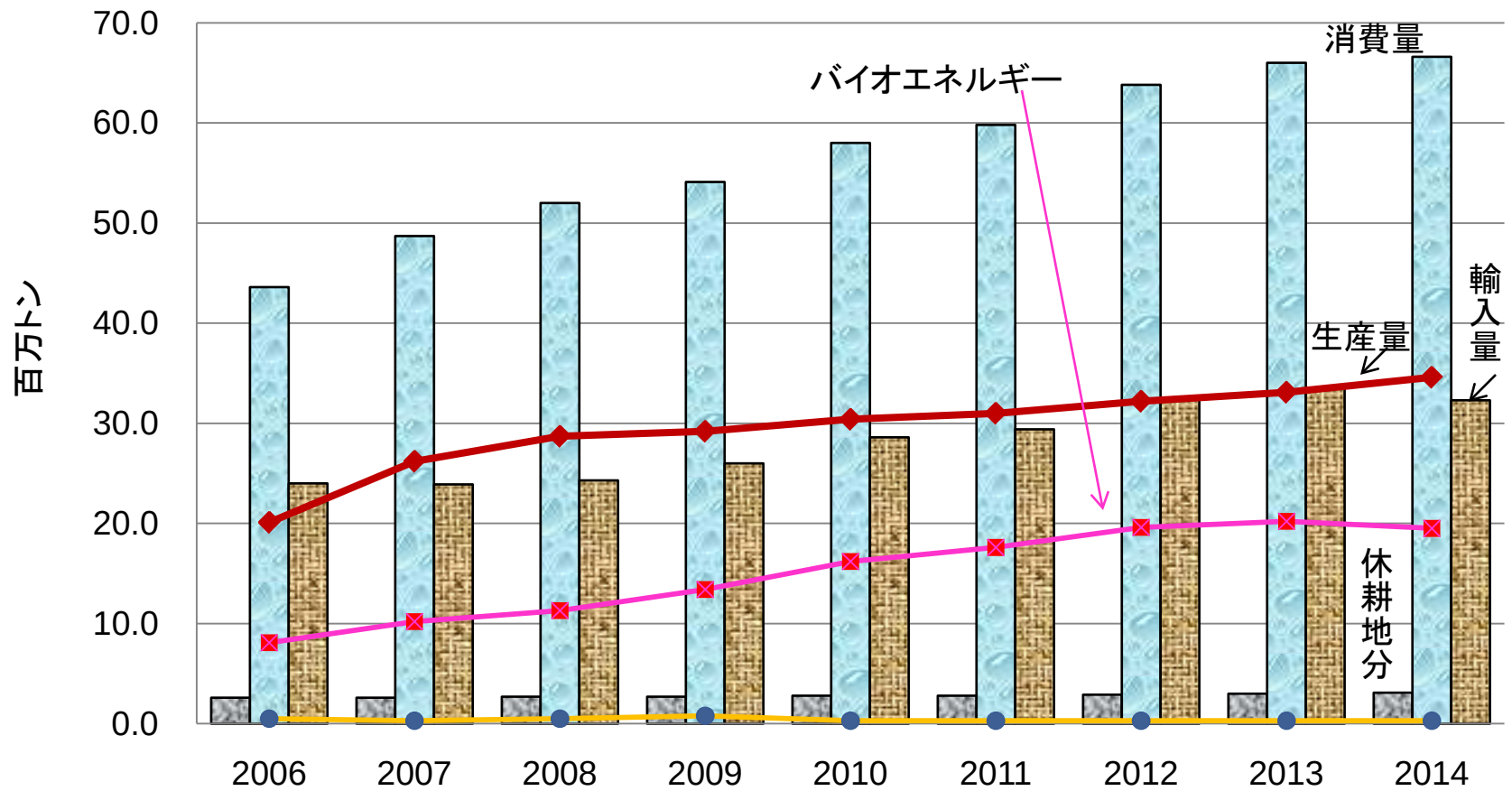
（2020年の第二世代バイオ燃料がバイオ燃料全体需要の20%とした場合）

穀物の需給バランスシート(2014年)



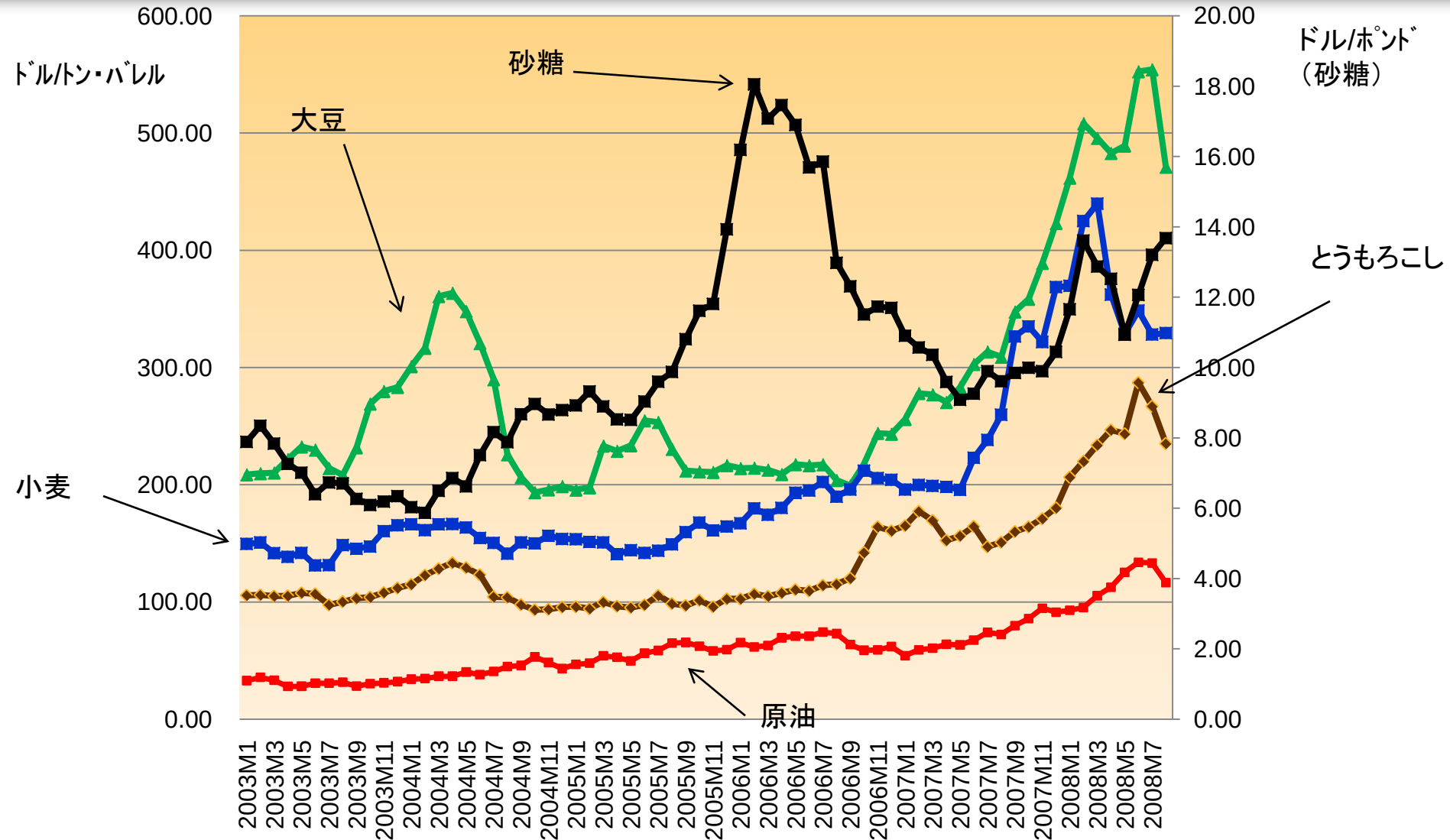
資料: 欧州委員会、Prospects for Agricultural Markets and Income in EU (2007 – 2014), July 2007

油糧種子供需バランスシート(2014年)

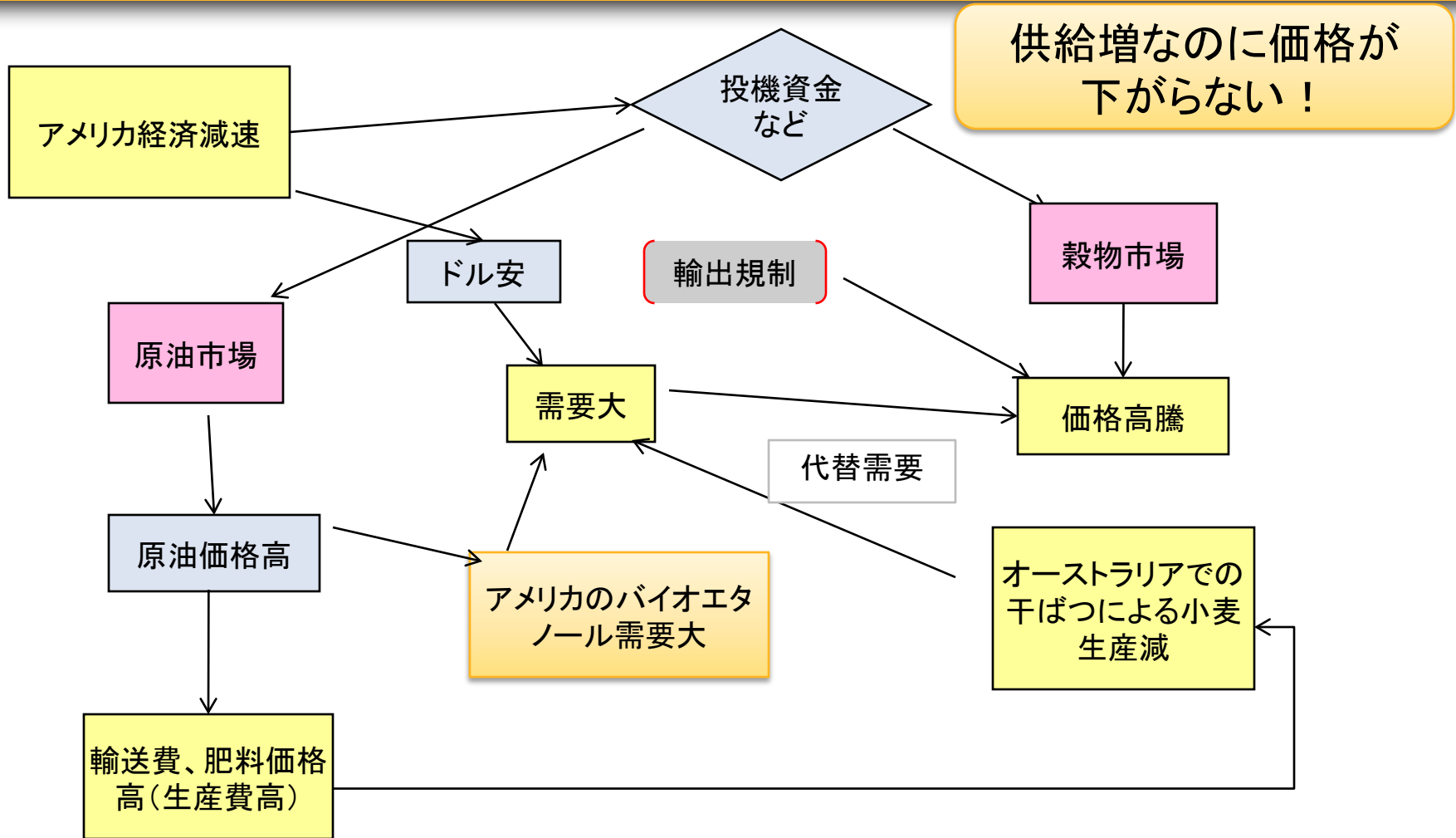


資料: 欧州委員会、Prospects for Agricultural Markets and Income in EU (2007 – 2014), July 2007

国際価格の動向



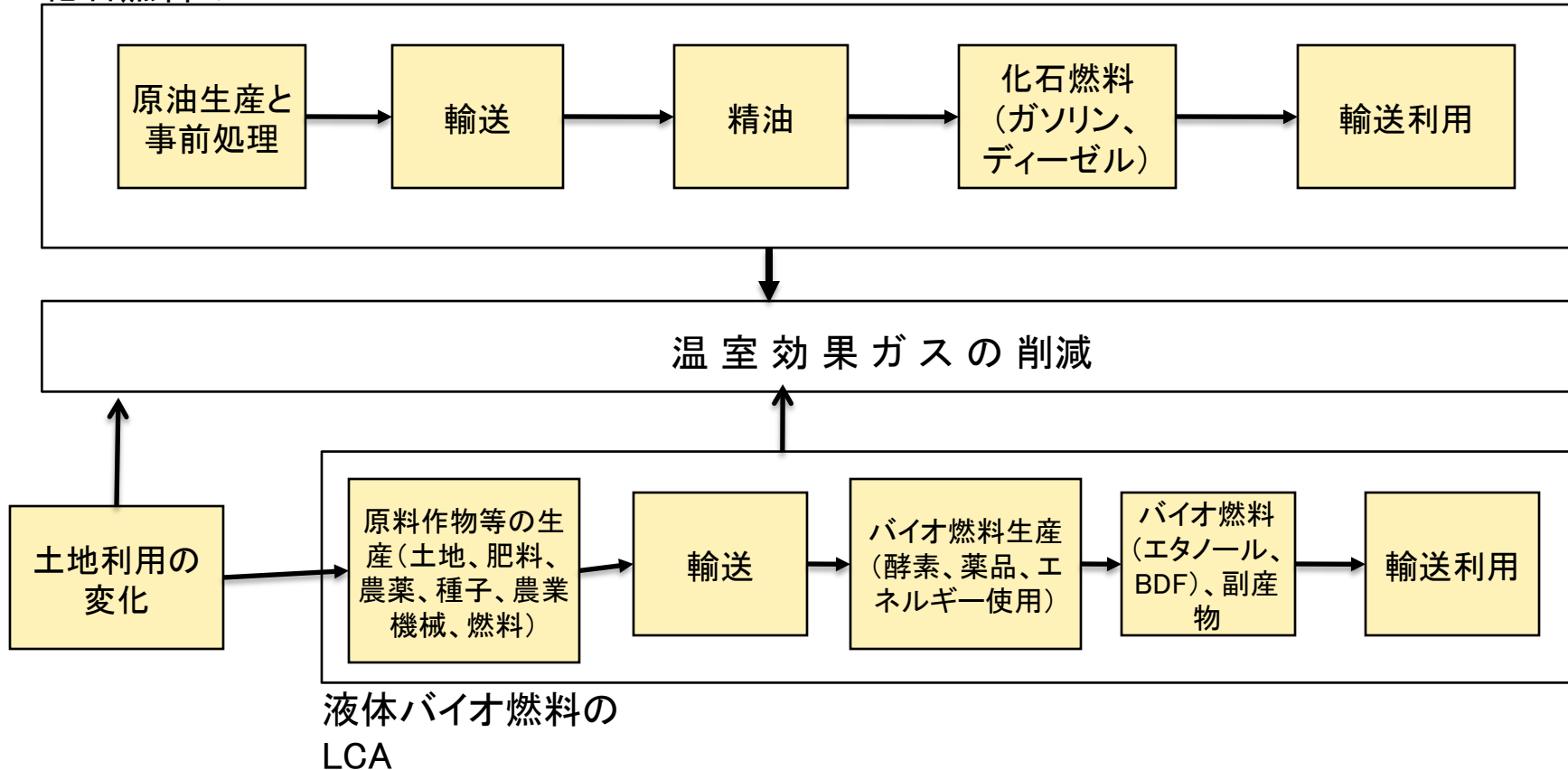
最近のとうもろこし価格高騰の要因



※ 最近2年間の価格高騰は中国、インド等の経済新興国の需要拡大が原因ではない。
穀物の全体的な需給バランスは、概ねとれている。

化石燃料とバイオ燃料のためのLCA

化石燃料のLCA



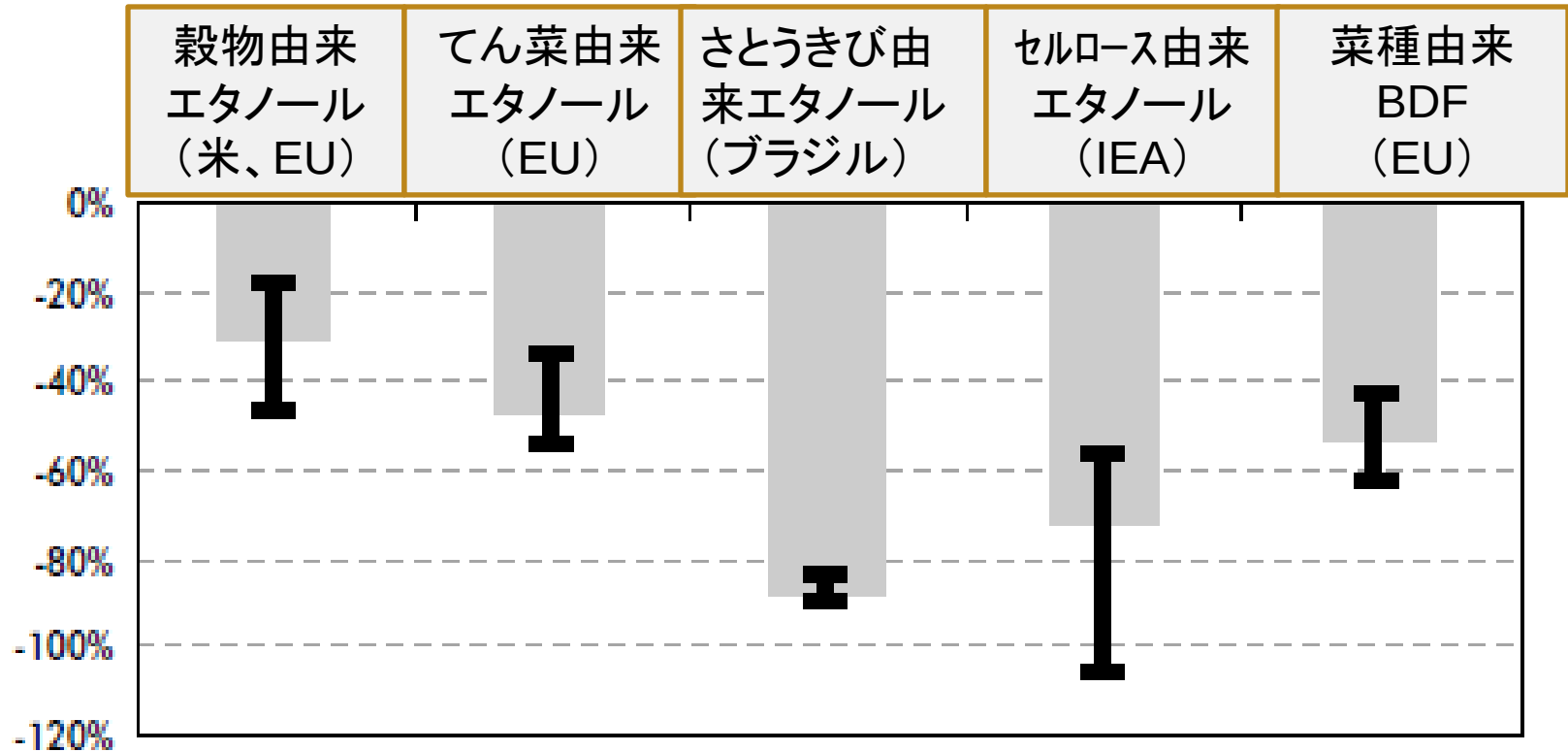
資料:FAO, The State of Food and Agriculture 2008, 7 October 2008を基に作成

自動車1kmあたり走行時におけるGHGの削減効果の比較 (LCA評価)

原料	燃料形態	場所	GHG変化率	出展
小麦		イギリス	-47%	Armstrong et al. 2002
てん菜		フランス北部	-35%	Armstrong et al. 2002
とうもろこし	E10	アメリカ	-1%	Wang et al. 1999
とうもろこし	E85	アメリカ	-14%	Wang et al. 1999
セルロース	E85	アメリカ	-68%	Wang et al. 1999
さとうきび	含水エタノール	ブラジル	-87%	Macedo et al. 2004
さとうきび	無水エタノール	ブラジル	-91%	Macedo et al. 2004

資料: Masami Kojima, Donald Mitchell, and William Ward, Considering Trade Policies for Liquid Biofuels (Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), World Bank, June 2007の表1.1より作成

温室効果ガス(GHG)削減効果



Note: This figure shows reductions in well-to-wheels CO₂-equivalent GHG emissions per kilometre from various biofuel/feedstock combinations, compared to conventional-fuelled vehicles. Ethanol is compared to gasoline vehicles and biodiesel to diesel vehicles. Blends provide proportional reductions; e.g. a 10% ethanol blend would provide reductions one-tenth those shown here. Vertical black lines indicate range of estimates; see Chapter 3 for discussion.

出典: IEA

原料別のエネルギー収支比

原料	エネルギー収支比
小麦	1.2
とうもろこし(米国)	1.3 – 1.8
てん菜 (EU)	1.9
さとうきび (ブラジル)	8.3

資料：小麦、トウモロコシ、てん菜のデータは、F.O. Licht, 2004、さとうきびのデータは Macedo, I etal., 2004

FAO によるバイオ燃料についての現状評価

- バイオ燃料需要増が食料価格高騰の一要因。貧しい家計が最大の被害者(都市部、農村部とも)
- 長期的には、適切な政策と投資が行われれば、開発途上国の貧困削減と食料安全保障の改善の機会(opportunity)を付与
- バイオ燃料はGHG削減のポテンシャルあり。実際の削減は生産地、エネルギー投入量によって左右。炭素固定能力の高い土地でのバイオ燃料生産によりGHGはより増加する可能性
- バイオ燃料のエネルギー消費面の貢献は限定的(ブラジルを除く)。
- バイオ燃料の増産は政策介入により加速化。2006年のアメリカの液体バイオ燃料支援総額は60億ドル以上、EUは約50億ドル。

資料:FAO、The State of Food and Agriculture 2008, 7 October 2008

水、土地(土壌)および生物多様性への影響

■ 水への影響

- バイオ燃料の原料作物(さとうきび、とうもろこし、パーム等)を商業生産する場合には、相対的に高い水分要求度
- ただし、ブラジルのさとうきび、アメリカのとうもろこし生産の大部分(前者は76%、後者は70%)は少雨地域にて実施
- バイオ燃料の製造には大量の水を消費(一般論)
- バイオ燃料のさらなる増産により、窒素肥料等による水質汚染の可能性
- ブラジルでは工場排水(vinasse)の多くを畑地に還元

■ 土地(土壌)への影響

- 土地利用の変化や原料作物生産の集約化は、土壌有機物の減少、土壌浸食、塩類集積を引き起こし、他方、茎葉等の土壌還元量の減少は、土中の有機物の減少や炭素量の減少につながり、GHGも増加する恐れ
- ただし、これらは適切な肥培管理技術により左右

■ 生物多様性(biodiversity)への影響

- 植生の変化(熱帯雨林の伐採等)によるwild biodiversityの変化の可能性
- 大規模な単一作物生産(プランテーション)によるagricultural biodiversityの変化(遺伝資源や伝統的品種の喪失→病害虫抵抗性の低減)の可能性
- 第2世代バイオ燃料の原料栽培やGMOの影響の可能性