

川島 信之

本稿では、ポリ乳酸LACEA®の事業開発を通して、植物を原料とする材料が果たす役割を明確にして、植物由来プラスチックであるポリ乳酸が産業として拡大するための課題と達成のためになすべきことについて紹介する。

植物は、太陽エネルギーを用いて、光合成などの作用により水と大気中の二酸化炭素からデンプン・糖類や油脂を作る。このデンプン・糖類や油脂を原料として、化学変成あるいは微生物や酵素の力により、生理活性物質、食品添加物、工業用化学品を製造することができる。植物を原料とし、バイオプロセスによって製造される有機酸、アルコール、アミノ酸など化学工業の基幹原料になるC2, C3, C4ケミストリーが、石油を原料とせず製造できることになる。さらに乳酸のようにポリマーの原料となるモノマー（ビルディングブロック）として利用できるようになり、バイオマス、バイオプロセスと化学合成との組合せにより、ポリ乳酸をはじめとするさまざまなポリマー製造も可能になる（図1）。大気中の二酸化炭素の炭素を骨格に組み込んだポリマーが得られることになる。¹⁾

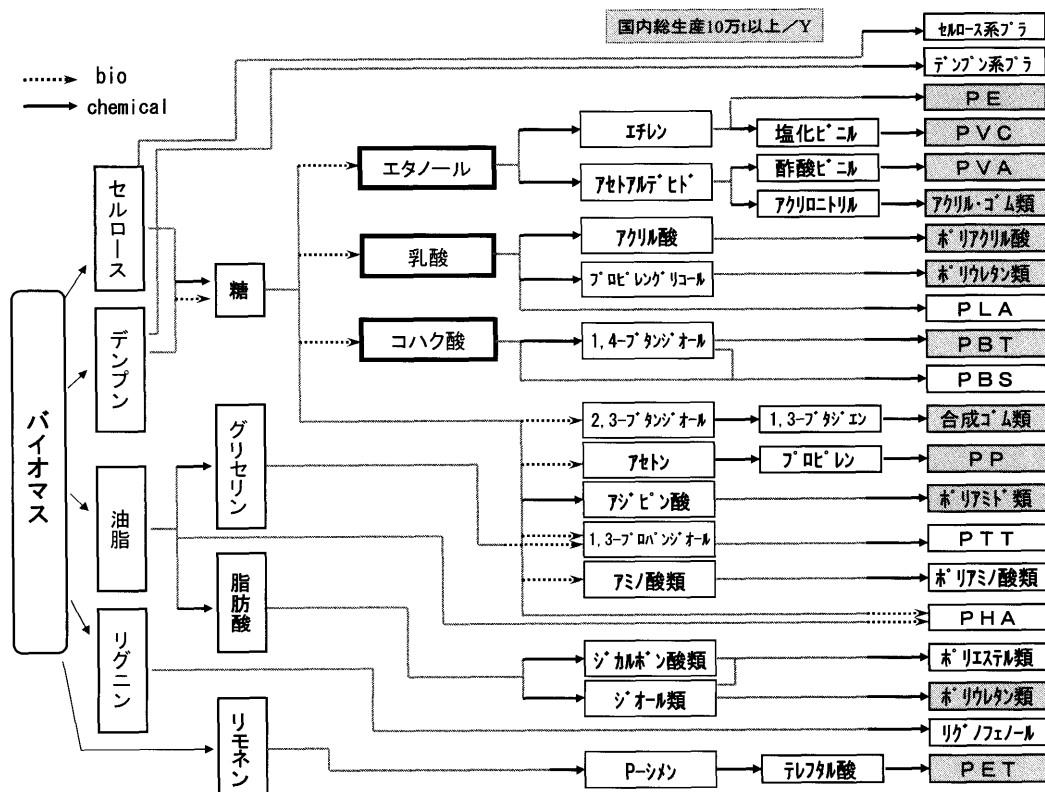


図1. バイオマスからのポリマー製造

著者紹介 三井化学株式会社ポリマー事業開発室 (LACEA-G グループリーダー) 〒105-7117 東京都港区東新橋1-5-2
TEL. 03-6253-3906 FAX. 03-6253-4238 E-mail: nobuyuki.kawashima@mitsui-chem.co.jp

植物由来プラスチックの役割

植物を原料とすることのメリットは、植物が大気中の二酸化炭素を吸収して生長することと、毎年再生可能であることに起因している。植物を原料とする材料の場合、化石資源を原料とする材料に比較して、次の二つの観点から優位性があると考えられる。化石資源由来の材料を焼却する場合、過去に地中に固定された炭素源を取り出してきて燃焼することになり、大気中の二酸化炭素の増加につながる。一方、植物を原料とする材料を焼却する場合、燃焼される炭素源は大気中の二酸化炭素が植物の光合成によって固定されたものであり、大気中の炭酸ガスを増やさないことになる（カーボンニュートラルと呼ばれる）。また、太陽エネルギーを原料の製造エネルギーとして有効に使用していることから、化石エネルギーの使用が少なくすむことになる。これにより、かけがえのない化石資源を節約できることになる。ポリ乳酸を製造時の二酸化炭素排出量と化石資源使用量については、米国カーギル・ダウ社をはじめとして、多くの機関がLCI計算を行っており（図2）²⁾ その値は汎用ポリマーに比べ低いものになっている（図3）。

植物資源の代表として、三大穀物資源（とうもろこし、

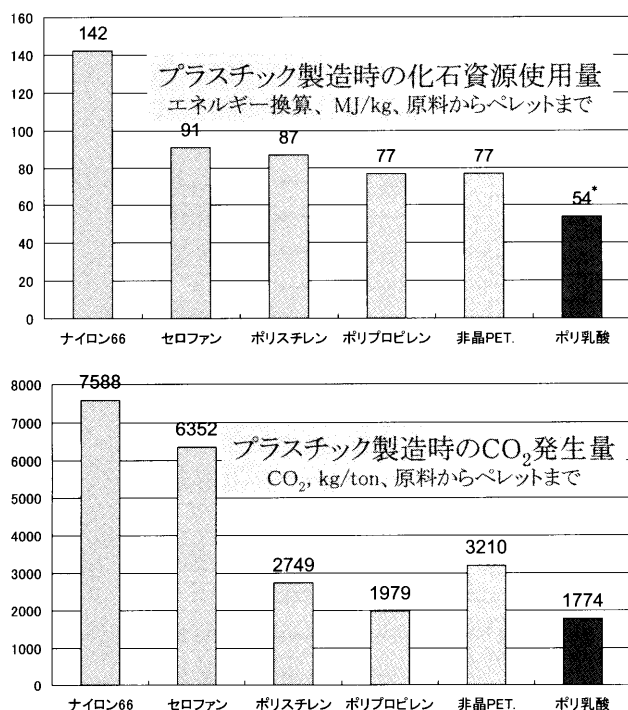


図2. プラスチック製造時の化石エネルギー使用量と二酸化炭素発生量²⁾ ポリ乳酸の数値はカーギル・ダウ社（現ネイチャーワークス社）の14万トンプラントがフル稼働時を想定。*（他の機関の発表）SRI, 50.6；Fraunhofer, 40.1；I. Fischer, 62.1。

小麦、米）の生産量（図4）と、とうもろこしの価格の推移（図5）を示した。三大穀物資源は、1970年代から10年ごとに10%以上の生産量の伸び率を示しており、また、とうもろこしの価格は原油に比較して安定に推移し

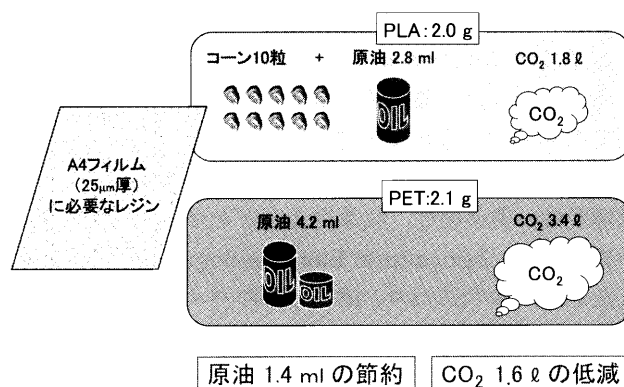


図3. ポリ乳酸を使うとできる環境負荷低減

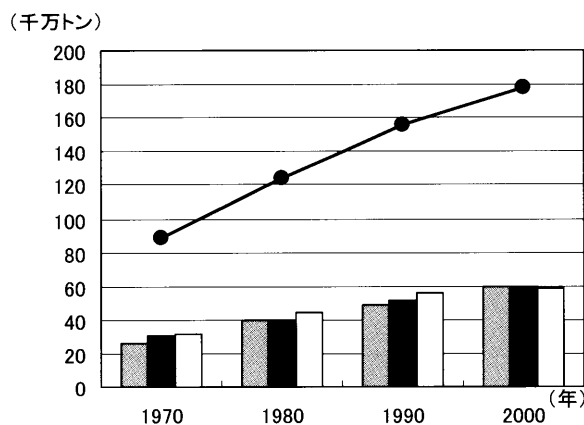


図4. 三大穀物資源の生産量の推移。■，とうもろこし；■，米；□，小麦；●，計。

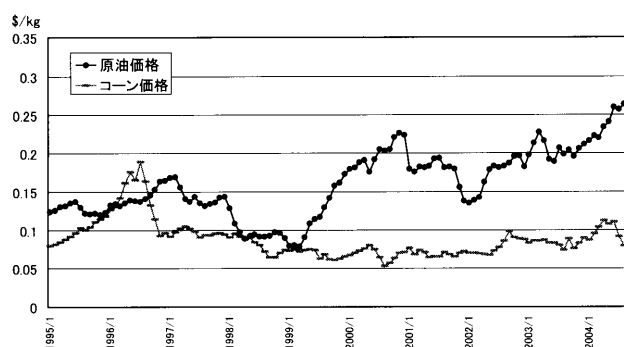


図5. 原料価格の推移—原油価格とコーン価格の比較—。原油価格：日本到着価格（CIF），財務省通関統計（\$/バレルを\$/kgに換算）。コーン価格：USDA data Omaha Cash Corn Prices（\$/ブッシェルを\$/kgに換算）。1バレル（159 l）=143 kgとして計算。1ブッシェル=27 kgとして計算。

ていることがわかる。穀物の生産量と価格は、天候、政治・経済状況などによって左右されるために一定ではないが、材料の原料ソースを化石資源以外のものにも求めることは樹脂安定供給の一つの方策であろう。原料となるデンプンや糖質は、穀物などの可食系植物資源以外にも、豊富に存在すると言えるセルロースの糖化によって得られる。セルロースを原料に使うことにより、石油資源を節約するための可食系植物資源への依存率は低下できる。³⁾ さらに、原油が中東地域に偏在していることが、政治的、経済的な問題の原因になっている。コーンやさとうきびなどの植物資源を組み合わせることにより、地域依存性を軽減できる可能性もある(図6)。

なお、化石資源を代替するエネルギーとして、さまざまな自然エネルギー、再生可能エネルギーが検討されている。バイオマス、太陽エネルギー、風力、地熱、潮力、波力などである。その中でバイオマスのみが有機物質であり、化学原料として利用できる。他の再生可能エネルギーは電気エネルギーに変換できるが、原料にはならない。⁴⁾

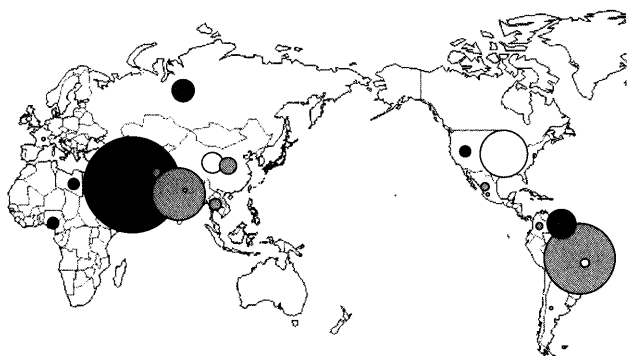


図6. 石油資源と植物資源の地域依存. ●, 石油埋蔵量; ●, さとうきび生産量/年; ○, とうもろこし生産量/年.

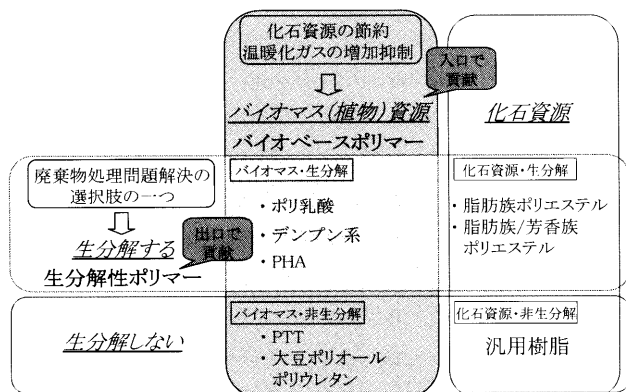


図7. バイオベースポリマーと生分解性ポリマー

将来にわたって、これまでの化石資源への依存から、植物資源との組み合わせが重要になっていくと思われる。

植物由来プラスチックと生分解性プラスチック

植物を原料とする材料と生分解性を有する材料は、生分解性の有無、ならびに原料の由来の観点から図7のようにまとめることができる。

植物由来のプラスチックは、前項で説明したように温暖化ガスの増加抑制ならびに化石資源の節約に寄与する材料である。原料に起因する寄与であるので、“入口”で貢献する材料である。一方、生分解性プラスチックは、使用中は通常のプラスチックと同じように使えて、使用後は自然界の微生物によって水と二酸化炭素に生分解され自然界に還る材料である。環境中やコンポスト中で生分解することから、マテリアルリサイクルや熱回収などと同様に環境への負荷低減に寄与する廃棄物処理法の一つとして期待される。使用後の処理に起因する寄与であるので、“出口”で貢献する材料である。なお、ポリ乳酸は、原料である乳酸がコーン、イモ類から得られるデンプン、グルコースや、ビート、サトウキビなどから得られるスクロース（ショ糖）の発酵によって得られることと、環境中で緩やかにコンポスト中で速やかに生分解するという両方の特性を備えている。

プラスチックを含めた材料の価値は、従来の価格や物性・機能によって定められてきた。近年、環境意識の高まりから、環境負荷低減が市場、消費者への新たな訴求点となることが明らかになってきている。そのために、それぞれの材料がどのように環境負荷を低減するかについての定量的な情報提供や、社会インフラの中での意義を明確にすることが求められる。植物由来プラスチックは、LCA情報を始めとする定量的な情報や現行のインフラシステムの中での意義が明確である。一方、生分解性プラスチックについては、生分解性の特長を発揮するためにコンポスト処理などのインフラの整備が求められる。

ポリ乳酸の用途

米国カーギル・ダウ社（現ネイチャーワークス社）の14万トンプラントの稼働により、国内でもポリ乳酸の十分な供給が確保された。ポリ乳酸の価格は、現時点では汎用樹脂より高いが、乳酸製造技術、重合技術は高いレベルにあり、安価な糖質から約68%という高収率で得ることができるので、今後生産能力の拡大に伴い、汎用樹脂と競合できるレベルまで下がると言われている。

これに伴い、国内でのポリ乳酸製品開発が活発に行わ

表1. ポリ乳酸の特徴と用途例

分野	ポリ乳酸の特徴	消費者への訴求点	用途例
包装容器	植物原料, 透明性	石油資源の節約 炭酸ガス増加の抑制	野菜包装袋, 食品トレイ, 紙ラミ, シュリンクフィルム, 結束バンド, 化粧品容器
	植物原料, 低燃焼熱	分別不要の商品設計	ラップの刃, 窓付き封筒
コンポスト資材	生分解性 植物原料	回収・分別不要 (省力化) バイオリサイクル	生ゴミ収集袋, キッチンネット
農業土木資材			マルチフィルム, 不織布, 植生ネット, ドレーン材
	アルカリ分解性	作業効率化	回路エッチングマスキング材
耐久財	植物原料	石油資源の節約 炭酸ガス増加の抑制	自動車部品, 家電部品
	植物原料, シルクタッチ	天然材料 風合い	繊維 (医療, 生活資材, 産業資材)

れている。ポリ乳酸は分子量と融点の違いにより銘柄構成され、射出、押出、繊維用途などでそれぞれ推奨銘柄が上市されている。ポリ乳酸は、透明、高剛性なポリマーである。これらの特長より、窓封筒やブリスター、食品トレイ、包装袋などの容器包装や、独特の風合いを生かした繊維製品などが実用化されている。また、ポリ乳酸は生分解性ポリマーとして、コンポスト化処理用の生ごみ回収袋や農業資材・土木資材での展開が図られている(表1)。2004年6月、ポリオレフィン等衛生協議会の理事会において、カーギル・ダウ社と三井化学が申請したポリ乳酸を食品包装容器に使用する際の自主基準が承認された。⁵⁾ このことにより、食品包装容器分野での使用拡大が期待される。

最近の用途展開においても、発芽野菜容器、鶏卵パック、野菜包装袋、梱包用バンドに採用され、食品を始めとする包装容器分野での市場ニーズの高さが示されている。これらの事例において採用された理由は生分解ではなく、植物由来であることが明らかになっている。

同様の理由で、パソコンの部品やコンパクトディスクなどOA・家電部品用途や自動車部品用途等の耐久財分野でも、新たなニーズが芽生え、商品化が始まっている。2005年3月から開催された愛・地球博において、バイオマス建築と環境負荷低減の新技術という設計コンセプトのもと、日本政府館の外壁にポリ乳酸をベースとした材料が使われている。⁶⁾ ポリ乳酸の耐久財用途の可能性を拡大するものである。なお、愛・地球博においては、植物由来プラスチックや生分解性プラスチックが、会場内のファストフードやレストランの食器や、幟旗やタオルなど会場内のさまざまな備品に使用される。

ポリ乳酸樹脂の訴求点は、生分解性から植物由来に確実にシフトしている。

“植物度”の導入

植物由来プラスチックの用途拡大のためには、用途に応じた物性改良が必須である。植物由来プラスチックの組合せ、あるいは植物由来プラスチックと生分解性プラスチックの組合せによる改良が進められているが、達成できる物性やコストにおいて限界がある。植物由来の材料と化石資源由来の材料との組合せにより多様な物性を実現することが可能になることがわかってきている。

このような技術革新の流れにともなって、プラスチック、あるいは製品中に含まれる植物由来成分の含有量を“植物度”として表すことが検討されている。“植物度”を環境負荷低減の評価尺度として用いるためには、植物由来成分の含有量が高ければ良いというのではなく、その植物由来成分を含有するプラスチック、あるいは製品が、代替しようとするプラスチック、あるいは製品に比較して、環境負荷低減への寄与を明確に説明することが求められる。2003年11月に開催されたICBP (International Conference on Bio-Based Polymers, バイオベースポリマー国際会議)において「植物度」の考え方が提案された。なお、米国においては、現在、ASTMが同様の概念を「Bio-based Content」と表現し、化石資源由来の炭素と大気中の二酸化炭素由来の炭素に基づいた定義、使用基準作りを進めている。

植物度という環境負荷低減を評価する適正な尺度を用いることにより、得られた材料の環境負荷低減効果を消費者にわかりやすく伝えることができる。ブラジルやアメリカでは、バイオエタノール(サトウキビやコーンを原料としたエタノール)を混合したガソリンが使用されている。バイオエタノールは文字通りバイオマス由来であり、燃焼しても二酸化炭素の増加につながらない。プ

ラジルではバイオエタノール含有率 25% のガソリンが、また米国ではバイオエタノール含有率 10% のガソリンが、それぞれ E25, E10 と呼ばれ普及している。⁷⁾ 植物度 25%, 10% の考え方がすでに実現されている。

今後の課題と成長の方向

環境や資源の問題には、今ここで問題になっていることと、将来地球全体で問題になることのように、時間的に、空間的に異なった種類の問題が存在する。それらの問題解決には異なった発想の対応策が求められる。⁸⁾ 地球温暖化や化石資源の枯渇のような、長期でグローバルな普遍的な問題の解決には、抜本的な技術や材料開発の促進と同時に、社会インフラストラクチャーの整備、環境教育による啓蒙・普及が対応策に含まれる必要があり、条約や議定書の締結など、国家を超えた枠組みによる対応が求められる。

このような観点から、今後ポリ乳酸を始めとする植物由来プラスチックが産業として拡大するためには 3 つの大きな課題があると思う (図 8)。第一の課題は、物性の抜本的改良である。すでに長年の歴史の中で最適化されている他の汎用樹脂と比較して、植物由来プラスチックはまだ生まれたばかりの樹脂である。ポリ乳酸は、透明で高剛性の熱可塑性樹脂として成型加工性に優れている一方、耐熱性、耐衝撃性などの改良が必要である。“植物度”の考え方により材料開発が加速すると期待される。また、安価供給については、これまでの樹脂開発で実現されたように、量産化と技術革新により達成されていくと思われる。農水省の「バイオ生分解素材利用普及事業」平成 15 年度報告書によると、ポリ乳酸の製造コストの大半を乳酸が占め、その中で、乳酸発酵と精製工程のエネルギーが半分以上であり、改良のために生物工学に対する期待が大きい。第二の課題は、植物由来であるというコンセプトを明確にし、市場、消費者の理解を広げることである。レジメーカーとして、この材料の環境負荷低減に関する定量的、科学的な情報を伝えることが重要である。第三の課題は、行政、法規制に対応することである。環境問題に取り組む行政、法規制の枠組みや取り組みは、省エネやマテリアルリサイクルのように既存の材料、技術を前提とするものであった。2000 年 6 月に施行された循環型社会基本法や、2002 年 12 月に閣議決定されたバイオマス・ニッポン^{9,10)} のようなあらたな国家戦略のもとで、バイオマス由来の材料開発を推進する様々な施策が講じられていくことになっており、植物由来プラスチックの事業開発も整合性を取りながら進めて

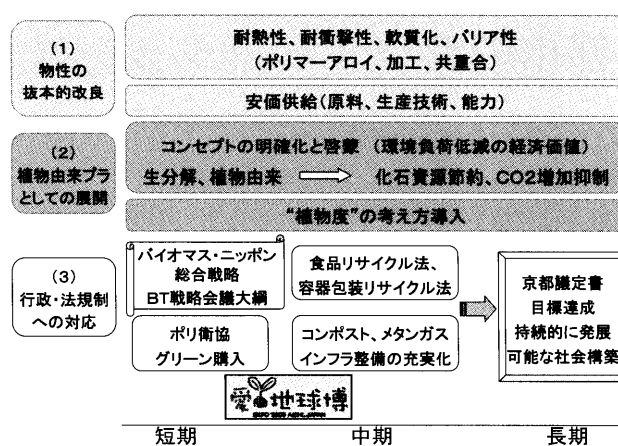


図8. 植物由来プラスチック（ポリ乳酸）市場拡大のための課題

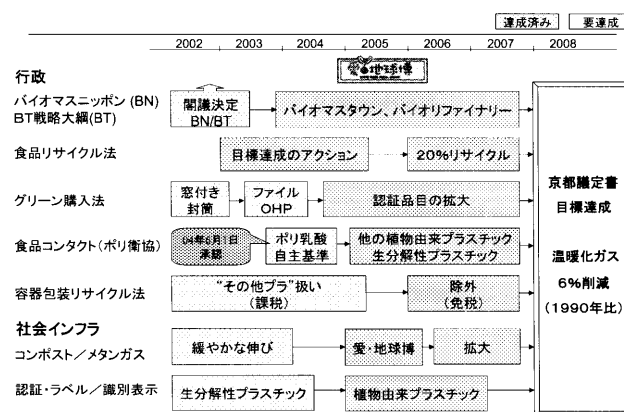


図9. 植物由来プラスチック産業に影響を及ぼす要因

いく必要がある (図9)。

課題を着実に解決していくことにより、ポリ乳酸のような植物由来のプラスチックが石油由来のプラスチックを補完するように成長していくと期待している。

文 献

- 1) Patel, M.: *Techno-economic Feasibility of Large-scale Production of Bio-based Polymers in Europe*, Utrecht University (2004).
- 2) Vink, E. et al.: *Polymer Degradation and Stability*, **80**, 403 (2003).
- 3) 川島信之: 有機合成化学協会誌, **61**(5), 496 (2003).
- 4) 横山伸也: バイオエネルギー最前線, p.7, 森北出版 (2001).
- 5) 篠 清志: 地球環境, **35**(10), 80 (2004).
- 6) 川島信之: 経済産業ジャーナル, **37**(11), 22 (2004).
- 7) 稲田雄二: 環境研究, **133**, 64 (2004).
- 8) 倉坂秀史: エコロジカルな経済学, ちくま新書 (2003).
- 9) 末松広行: バイオマス利活用への技術開発 (政策総合研究所編), p.32 (2004).
- 10) 藤本 潔: バイオマス利活用への技術開発 (政策総合研究所編), p.40 (2004).