

— 特別企画・FRP50年の歩み —

FRPのLCA

高橋 淳*

1. はじめに

FRPのLCAは10年前にはまだほとんど意識されていなかったし、現在でも確立したものとは呼べないが、本稿ではこれまでの経緯を整理して、今後についての考えを述べたい。なお、紙面の都合上、FRPのLCAに関する具体的データと解説についてはFRP入門¹⁾を参照されたい。

2. 複合材料の環境負荷評価 (1990年代前半)

筆者が1992年に製品科学研究所(現、産業技術総合研究所)に入所して、剣持潔課長(現、信州大学教授)のもとで最初に担当したプロジェクトはFRTPのマトリアルリサイクルと超耐環境性先進材料(スペースプレーン用セラミックス系複合材料の開発評価)という両極端のものであったが、その異質の技法の勉強をしながら共通して常に気がかりであったのは複合材料を環境負荷の側面から競合材料と比較できないかと言うことであった。

その後、1992年の地球サミット以降、通産省(現、経済産業省)傘下の研究所では独自にプロジェクトを提案する場合も、企業から提案されてくるプロジェクトを評価する場合にも、LCAの考え方で評価が補助的になされるようになってきていたこともあり、FRPのLCAは具体的に必要となり、知的材料・構造のプロジェクト立ち上げ(1994~1997年)の機会を利用して、LCAを用いてFRPやその知能化の利点を定量化し、プロジェクトの目標設定に使えないかを考えてきた。

結果として、この時点ではFRP関連原単位の未整備や、LCAに表れないFRPの利点・弱点の評価との兼ね合いもあり、挫折する結果となったが、この頃からのISO14000、知的基盤整備、京都議定書などの後押

しもあり、徐々に周囲からの協力も得られるようになってきた。

3. FRPの原単位収集 (1990年代後半)

最近でこそLCAの解説本が多く出回るようになってきたが、10年前には国内にはほとんど情報が無く、オランダのライデン大学からもらった文献などから手探りで勉強していた。

そのような中、研究所OBの牧廣氏(拓殖大学名誉教授)に化学経済研究所の林廣和氏(現、産業情報研究センター)を紹介頂き、実際にFRPの原単位を作っていく作業が具体化し始めることになったが、実は林氏の最初の言葉が「昔、機械技術研究所の島村さんが全く同じ相談に来ましたよ」であり、島村昭治氏の著作を集め直し、その必要性をはるか昔に完璧に語っておられたことに感心したことを思い出す。さらにその後、筆者の留学中(1998~1999年)のホストであったシドニー大学のマイ先生から、それはゴードンの本²⁾(原著は1978年出版)にも書いてあったと聞かされ、再び自分の薄学を恥ずかしく思うと同時に、これら先人が成し得なかったFRPのLCAを完成させたいという思いを強めた。

さて、化学経済研究所は1970年代の2度のオイルショックの後、通産省(現、経済産業省)からの委託により樹脂製品の環境負荷評価と省エネへの寄与を継続的に調査してきたこともあり、そのノウハウはFRPの原単位作成に不可欠であり、林氏との出会いはまさに幸運であった。

こうして1997年度に、化学経済研究所を事務局として、松井醇一氏(当時、東レ)の献身的なご協力とその人脈により、まずはFRPの環境負荷に関する研究とその用途に関する実態調査を行った³⁾。この調査時点では、ガラス繊維も炭素繊維も原単位は無く、ガラスや黒鉛の原単位といった小さな値で代用されるか、あ

*東京大学 大学院工学系研究科 環境海洋工学専攻

まり根拠のない大きな値が仮定されて計算が行われるなどひどい状況であった。

引き続き1998年度には、FRPの環境負荷計算に最低限必要なデータを揃えた報告書を出すことができ、世界ではじめてガラス繊維、炭素繊維、ならびにその複合材料の根拠ある原単位データが公表された⁴⁾。この文献自体は印刷部数も限られており入手困難と思われるが、主要なデータは文献¹⁾で紹介されているので、参照されたい。なお、入手が容易な学術論文(特に英文雑誌)としてはまだ公表されていない理由は後述する。

その後、PAN系炭素繊維については2004年に原単位が見直され、これは1999年7月に公表された上記原単位⁴⁾の約半分の値となっている。

4. FRPのLCAにおける注意点

4.1 具体的改善指針は用途によって異なる

製品やサービスのLCAを行う目的は次のように大別できる。

- ① 自身のインベントリー・データを元に原単位を収集・整備した主体が、その工程を改善する。
- ② 他者が整備したバックグラウンド・データ(例えば基礎素材の原単位)をもとに、自身のフォアグラウンド・データ(例えば、組み立て産業側の加工・輸送のデータ)とあわせて、類似の製品・サービスの環境負荷比較を行う。

ここで、FRPをより環境に優しいものとするために①は不可欠であるが、実際は②まで行ってはじめて具体的な改善項目と優先順位が決まり、目標値も設定できることになるため、基礎素材においては改善や開発の目標値が用途に依存する点に注意が必要である。特に多様な用途への対応が期待されるFRPにおいては、何をどこまでやれば良いといった画一的な改善指針が定めにくいという問題が指摘できる。

4.2 新素材の原単位データ公表の難しさ

それはさておいても、環境に優しいことを社会的に説明して行くためには、いずれにせよ②の次元での客観評価に耐えるだけのデータを提供していく説明責任がある。その際に、当初は、FRPにおける素材組み合わせと成形法のバリエーションの多さから、画一的にFRPの原単位を整備するのは困難ではないかとも心配されたが、その他の基礎素材も部品レベルでは同様にバリエーションが多く環境負荷も様々であって、また、

製品LCAという目的から逆算される基礎素材の原単位に要求される精度から考えても、実はそのことはあまり問題とはならなかった。

すなわち、基礎素材の製造原単位は生産量の増加や製造方法の革新・合理化を経て変化していくものであり、開発当初から比べると合理化グレードでは半分以下になる場合が普通であるが、FRPは素材にしる製造方法にしる今後の改善の余地が大きく、現在の原単位で上記②の意志決定をされることのほうが大変危険であると言える。

例えば、上述のように、PAN系炭素繊維の原単位は見直しが進められているが、それは現在の生産法・生産量での汎用グレードの原単位の計算精度が上がっているだけの話であり、もしも量産車をCFRPで軽量化するようなケースを現在のスチール製乗用車と比較するのであれば、今後一般産業用途に量産されるグレードでの素材原単位や製法が想定されるべきであり、その推定方法は業界から提示する必要がある。

また、恣意的に結果を導こうとする場合はもちろん、多くの場合原著の注意書きは読んでもらえず数値だけが又引きされて一人歩きしていくものなので、新素材と従来材料の環境負荷比較が行われる様々な場合を想定し、FRPの原単位データの公表には慎重にならざるを得ない。しかしながら、社会的認知度を上げていくためには原単位データを公開していくことは不可避であるため、その使用法としてのケーススタディとセットで公表するなどの戦略的準備と手順が重要となる。

5. FRPのLCAからわかること

データの一人歩きが危惧されるため、計算の前提条件と結果の持つ幅の説明が十分に出来ない本稿ではケーススタディの結果のグラフ等を用いた議論は差し控えたいが、現在までの検討で明らかとなってきたことをいくつか紹介したい。

5.1 一体成形のメリット

金属材料との組み合わせで使われた場合、FRPの長寿命というメリットが出ない。すなわち、部品レベルでの置き換えに甘んじるのは、FRPにとっては力学的にも環境負荷の面からも得策ではなく、一体成形のための設計技術・材料技術・成形技術の提示が重要と言える。

5.2 運輸部門の省エネへの貢献

長寿命のメリットが出ない用途では、比強度・比剛性のメリットだけでは他の基礎素材よりも部品製造までの環境負荷はまだ大きい。輸送機器では機器製造時の環境負荷よりも機器運転時の環境負荷が圧倒的に大きいことから軽量化のメリットによりFRPがLCA的に優れているという結果を得る。

なお、輸送機器の中でも軽量化による省エネ効果が大きいのは、航空機、鉄道車両、トラック・バス、乗用車の順であるが、今後、ディーゼル、ハイブリッド、燃料電池等の技術により走行時の環境負荷が減ってくると、車体製造の環境負荷の割合が相対的に高くなっていくので、いずれは材料側の環境負荷低減も求められるとの指摘もある⁵⁾。

5.3 3Rが効果的⁶⁾

FRP製品の製造までの環境負荷だけを見ても、特に炭素繊維の場合は繊維製造の環境負荷が大きいため繊維の再利用が環境負荷低減に大きな効果がある。すなわち、FRPにおいても他の基礎素材の部品・製品と同様に次のようなことが課題となる。

- ① 3Rを前提とした設計を行う
- ② 素材の種類を減らす
- ③ 市場に出たものの回収戦略をたてる

- ④ 解体・分別・洗浄・破碎・再成形技術を開発する
- ⑤ 回収材と再成形品のマスバランスを考慮した用途開発を行う

このうち④については個別に研究も進んでおり、①②⑤も目的・目標が明確になれば技術的には解決可能なものであろうが、最大の課題は③であろう。銅線の電線ケーブルは有価物である銅の回収を目的に回収されていたが、光ファイバーケーブルになってからは回収のインセンティブが無いと聞く。この類推から、CFRPはある程度の量が出れば③はクリアされていく可能性があるが、GFRPについての③は今後も難題として残されるように思われ、⑤とあわせた業界レベルでの対策が必要と考えられる。

以上、LCAをやるまでもなく定性的にはわかってきたことばかりかもしれないが、LCAを行うことで環境負荷の面からのトレードオフや開発目標値が定量的に設定できるようになる点が重要であろう。もちろん、社会に受け入れられるためにはコスト、成形速度、表面荒さ、色、材料データベース、設計技術、品質保証方法、などなど、LCAでは計れない多くのファクターがあるが、このような障壁を大手飛車取りで解決していくための手段の選定にあたってはLCAやその考え方がプラットフォームたり得ると考えている。

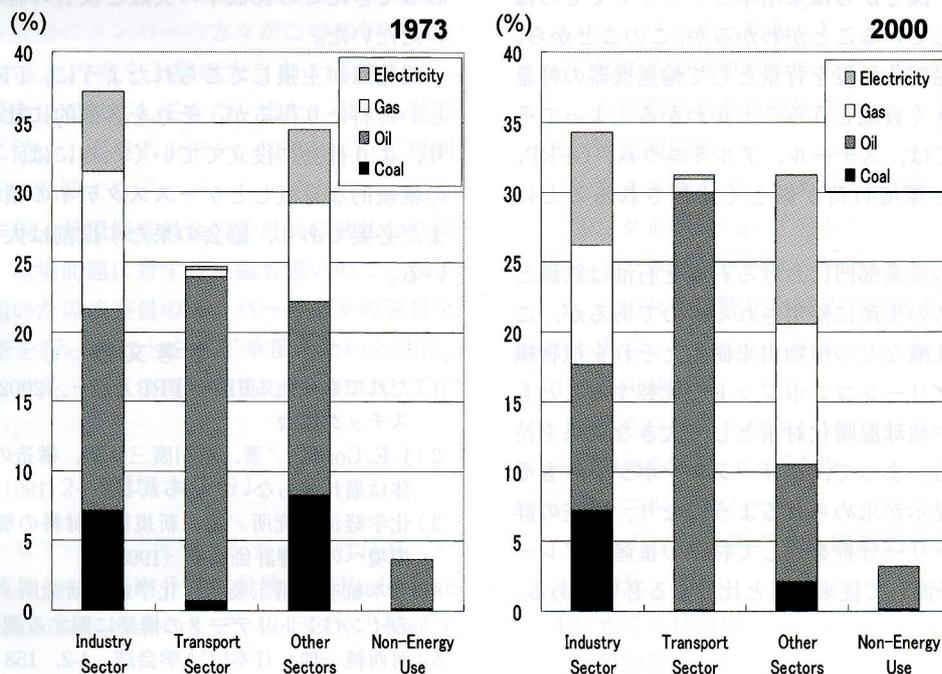


図1 エネルギー源別に見た世界の部門別消費割合 (IEA統計等をもとに著者ら作成)

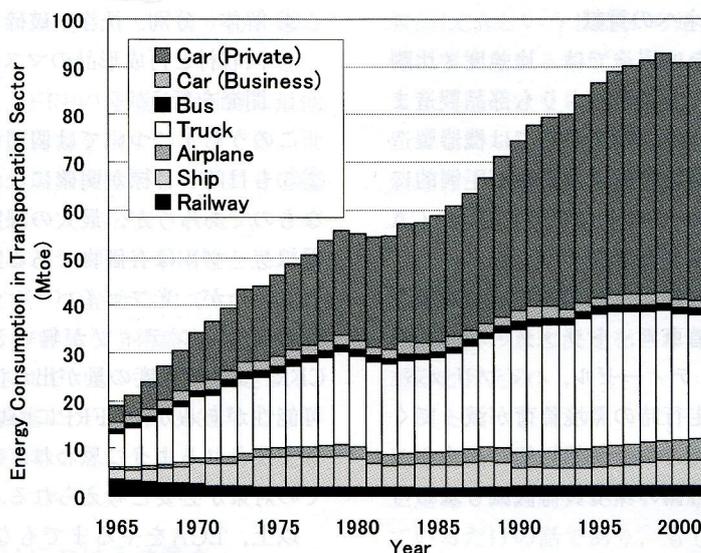


図2 日本の運輸部門での機関別エネルギー消費量の推移

6. FRPのLCAが急がれる分野

FRPの需要拡大分野と言っても良いと思われるが、他の基礎素材を代替する分野では厳しい比較検討が必要となるため、FRPならではの製品に比べてLCAも急がれることになる。

図1は石油の大半が運輸部門で使用されていることを示しており、図2からは乗用車とトラックでそのほとんどを消費していることがわかるが、このことから、原油高や地球温暖化対策を背景として輸送機器の軽量化にFRPが大きく貢献しうることがわかる。よってその導入に際しては、スチール、アルミニウム、GFRP、CFRPの性能と環境負荷が厳しく比較されることになる。

また、図1の産業部門における石炭と石油は鉄鋼とプラスチックの生産に使用されるものであるが、この一部をポリ乳酸などの植物由来樹脂とそれを植物繊維で補強したグリーンコンポジットで代替することもまた、省エネや地球温暖化対策として大きな効果を持つことがわかる。よって、グリーンコンポジットもその環境負荷の提示が求められるようになり、現在の詳細なインベントリー分析を通して将来の量産化グレードの原単位を予測して従来材料と比較する必要がある。

7. おわりに

FRP50年の歩みの諸先輩方の原稿を拝見し、そのデータの豊富さもさることながら、驚かされたのは過去の記憶の鮮明さであり、その経験談や経験に基づく歴史的経緯の解説は非常に勉強になった。そこで、本稿も、薄識を顧みず、思い切ってFRPのLCAにかかわってきたこの10数年の失敗と反省の経緯を書かせていただいた。

諸先輩が主張してこられたように、FRPは環境に優しい材料たり得るが、それを客観的に社会に提示したり、より社会に役立てていくためには、原単位データの継続的な見直しとケーススタディの積み重ねがまだまだ必要であり、協会の果たす役割は大きいと考えている。

参考文献

- 1) だれでも使えるFRP-FRP入門- (2002-9), 強化プラスチック協会
- 2) J. E. Gordon/著, 石川廣三/訳, 構造の世界—なぜ物体は崩れ落ちないでいられるか— (1991), 丸善
- 3) 化学経済研究所/編, 新規複合材料の導入に伴う地球環境への影響評価調査 (1998-3)
- 4) 日本航空宇宙工業会, 化学経済研究所/編, 複合材料のインベントリーデータの構築に関する調査, (1999-7)
- 5) 河西純一他, 日本LCA学会誌, 1-2, 158 (2005)
- 6) 高橋 淳, 環境安全, No.105, 9 (2005)