

紙と電子メディアの CO₂ 排出量の比較

Comparison of CO₂ emission of paper and electronic media

柴田 博仁*¹
Hirohito Shibata

大村 賢悟*¹
Kengo Omura

*¹ 富士ゼロックス株式会社 研究技術開発本部 コミュニケーション・デザイン・オフィス
Communication Design Office, Research and Technology Group, Fuji Xerox Co., Ltd.

This paper compares paper and electronic media from an environmental perspective. CO₂ emissions are compared between when using paper and electronic media in two document-related working scenes: reading documents and sharing documents in a meeting. Results show that, in the case of reading for hours and sharing documents in a small meeting, CO₂ emissions tend to be lower when using paper instead of electronic media.

1. まえがき

紙の原料は木であり、木はエコの象徴である。このことが紙のイメージを悪くしている。机の上に高く積まれた紙は、森林伐採の産物であることを連想させる。日本製紙連合会が 2008 年 7 月に 1000 名を対象に実施した調査 [テックタイムス 09] では、「紙の消費と森林減少に関係があるか」という問に対して「あると思う」「ややあると思う」と答えた人が 73.8%に達した。逆に、「関係ないと思う」「あまり関係ないと思う」と答えた人は 9.4%にすぎなかった。現在、熱帯雨林を中心とした森林資源の減少が深刻な問題とされている。多くの人が、この問題の一因として紙の消費を強く結びつけて考えていることがわかる。

また、環境への意識の高まり、さらにはリーマンショック以降の世界的な不況の影響により、多くの組織でプリントやコピーの出力枚数を厳しく制限するレスペーパー化の施策が施されている。2009 年 8 月にオフィスワーカー2050 人を対象にわれわれが独自に実施した調査では、全体の 59%の企業や役所において、複写機やプリンタで利用する OA 用紙の節減施策が実施されていることがわかった。その目的は、第 1 にコスト削減 (44%)、第 2 に業務の効率化 (22%)、第 3 に環境への配慮 (18%)、第 4 にセキュリティ対策 (15%) である。環境問題への対応のみが理由ではないにせよ、多くの組織にとって紙は排除すべき対象と見なされている。

しかし、事実を紐解いていけば、このような認識が適切でないことは容易に理解できる。日本製紙連合会の報告 [日本製紙連合会] によれば、2008 年時点での日本での紙・板紙の古紙利用率は 61.9%であり、世界的に見ても高い水準にある (韓国、ドイツに次いで世界第 3 位)。すなわち、紙の原料の大半は紙であり、紙は木ではなく紙から作られているといえる。パルプ材の調達においても、植林された人工林からの調達が大半 (6 割以上) であり、残りについても間伐材や製材残材などが活用されている [日本製紙連合会, 王子製紙 09]。少なくとも日本においては、天然林の樹木が丸ごと伐採されて紙が作られるというイメージはまったくの誤りである。

さらに、紙は使っても減らないため、使い終わったら積まれる。そして、紙の消費量がひと目で把握できるようになる。このことは、紙の消費が資源の無駄使いの象徴として考えられる一因になっ

ている。これに対して電力やガソリンについては、使った量が蓄積されないため、ある一定期間にどれだけ消費したのかを意識することは少ない。もし、電力やガソリンの消費量も紙と同様の形で視覚化されたなら、資源消費としての電力やガソリンに対する見方、さらにはそれと対比した紙に対する見方もだいぶ違ったものになることだろう。

環境の側面から紙が悪玉のように考えられている一方で、実際に情報を取り扱う業務を行う個人においては紙が強く好まれている [O'Hara 97, Sellen 97, Adler 98, Sellen 01, O'Hara 02]。Sellen & Harper [Sellen 01] がさまざまな組織の観察にもとづいて指摘するように、電子機器の導入が進んでいる先端的な組織においてさえ、オフィスは紙であふれている。そして、猛烈なナレッジワーカーほど紙に依存した働き方をしている。2008 年 9 月にオフィスワーカー826 名を対象にわれわれが調査した結果でも、読みやすさの点で紙が圧倒的な支持を得ていることが示された [大村 10]。紙で読む場合と PC のディスプレイで読む場合の比較について、熟読しやすさ、没頭しやすさ、一覧しやすさなどの 18 の評価項目すべてにおいて紙はディスプレイよりも高い評価を得た。

このような背景をふまえると、環境の観点から紙の消費は減らすべきだと思いつつも、業務を進めるうえで紙はなくてはならないものと考えられている構図が浮かび上がってくる。紙の消費は本当に環境にとって望ましくないのだろうか。そして、人々はそれを知りながらも、業務の効率化のため、またはこれまでのワークスタイルを変えられないために、仕方なく紙を使い続けているのだろうか。

本稿では、作業ごとに紙を利用する場合と他のメディアを利用する場合とでの CO₂ 排出量を比較する。想定する作業シーンは、文書を読むシーンと会議で文書を共同閲覧するシーンである。文書を読む際、紙にプリントして読む場合とディスプレイで読む場合とでどちらのほうがエコなのか、さらには会議で情報共有をする際、文書を紙で配布する場合とプロジェクタで投影する場合とで、どちらがエコなのか。本稿ではこういった事柄について、CO₂ 排出量を比較することで、答えを与える。

これまでも筆者らは同様の分析を行ってきたが [柴田 10]、これまでは使用段階での消費電力のみをから CO₂ 排出量を算出してきた。これに対して、本稿ではプリントあるいは情報表示で利用する機器の製造段階や輸送段階での CO₂ 排出量も含めたライフサイクルとしての CO₂ 排出量の比較を行う。

なお、メディアには情報を保存したり、伝達したりという役割もあるが、ここでは表示メディアとしての側面に焦点を当てる。したがって、雑誌、書籍、新聞、衛生用紙、包装用紙など、紙にはさ

連絡先: 柴田 博仁, 富士ゼロックス株式会社 研究技術開発本部 コミュニケーション・デザイン・オフィス, 220-8668 神奈川県横浜市西区みなとみらい 6-1, 045-755-8598, hirohito.shibata@fujixerox.co.jp

表 2 製品ごとの単位量あたりの CO₂ 排出量

製品	選定条件	製品数	ライフサイクル CO ₂ 排出量	使用条件	単位量(1 時間または 1 枚)あたりの CO ₂ 排出量
標準的 PC	インテル Core メモリ 4 GB 以下	11	225.0	稼働 4.5 時間/日, 省電力 4.5 時間/日, 240 日/年, 4 年間	49.6g/h
高性能 PC	インテル Core メモリ 4 GB 超	6	446.4		98.4 g/h
17 型ディスプレイ	17 インチ	5	95.2		21.0 g/h
19 型ディスプレイ	19 インチ	6	119.5		26.3 g/h
ノート PC		9	125.1		27.5 g/h
プロジェクタ	解像度 1280 × 800 以上	13	286.75	3.5 時間/日, 100 日/年, 5 年間	163.8 g/h
プリンタ	A3 プリント可 電子写真方式	3	2379.7	プリンタによって総プリント枚数が異なる	2.5g/枚

さまざまな種類のものがあるが、本稿では情報用紙の一種である OA 用紙¹に限定して議論を行う。

2. CO₂ 排出量の算出における考え方

情報を紙で閲覧する場合と電子メディアで閲覧する場合の CO₂ 排出の種類を表 1 のように整理する。大まかに、「エネルギー消費」「資源消費」「見なし消費」の 3 種類にわけて説明する。エネルギー消費は電力、ガソリンなどのエネルギーの消費である。資源消費は、紙、水、食料などの資源の消費である。見なし消費は、対象とする行為で実際に消費されるわけではないが、機器やインフラが利用量に比例して消費されたと考える消費である。

表 1 情報表示のための CO₂ 排出量

	エネルギー消費	資源消費	見なし消費
紙	プリンタの電力	紙, トナー	プリンタ利用
電子	PC, ディスプレイ, プロジェクタの電力		PC 利用, ディスプレイ利用, プロジェクタ利用

エネルギー消費としてプリンタやディスプレイの電力、資源消費として紙、トナー、見なし消費としてプリンタやディスプレイの利用などがある。ここで、プリンタ利用とは、プリンタの素材、製造、運送、廃棄の段階での CO₂ 排出量 (ライフ・サイクル・アセスメント (LCA) での利用段階を除いた CO₂ 排出量) をプリンタでの各出力の枚数に応じて均等配分したものである。ディスプレイ利用、PC 利用、プロジェクタ利用も同様に、素材、製造、運送、廃棄の段階での CO₂ 排出量をこれら機器の利用時間に比例して配分したものである。

ここで、見なし消費の増減は実際の CO₂ 排出量に直接的に寄与しない。たとえば、ある状況でプリンタの利用を取りやめたとしても、プリンタそのものがなくなる限り、実際の CO₂ 排出量は減ったことにはならない。このような観点から、見なし消費を含めた CO₂ 排出量の算出については、一般の理解が得られにくいとする見解もある [伊藤 07]。そこで、著者の別稿 [柴田 10] では、見なし消費を除外し、エネルギー消費と資源消費をもとに紙と電子メディアの CO₂ 排出量を比較した。

しかし、見なし消費を含めない CO₂ 排出量の算出方法は、次に示すような矛盾を含む。すなわち、プリンタは紙に出力するた

めに作られた機器であるにもかかわらず、紙出力の CO₂ 排出量にはプリンタの素材や製造段階での CO₂ 排出量が含まれていない。確かに、一時的に機器を利用しなかったとしても機器の素材や製造段階での CO₂ 排出量が増えることはない。しかし、機器の利用が恒常的に減ると経済的観点から機器の所有が減り、最終的には CO₂ 排出量の削減につながる。すなわち、見なし消費を含めた CO₂ 排出量の算出は、行為ひとつを取り上げたミクロな視点では直感に合わないが、メディア選択の方針を恒常的に継続する場合のマクロな視点では現実を正しく反映しているといえる。

このような認識のもと、本稿では表示メディアとしての紙と電子メディアの CO₂ 排出量を比較するにあたり、見なし消費も含めた算出を行う。ここで、CO₂ 排出量の算出において見なし消費を含めるべきか否かは、どのような視点で何を分析するかという観点から判断する必要がある。ひとつの行為だけを見るミクロな視点では見なし消費は含めないほうが取り扱いやすく、継続的な行為を大局的に見るマクロな視点では見なし消費を含めるのが望ましい。

3. 基本データ

製品のライフサイクルでの CO₂ 排出量について、現段階で各社からのデータが出揃っている状態には程遠い。それでも、その動きは加速しつつあり、産業環境管理協会の Web サイト [産業環境管理協会] では、いくつかの製品のライフサイクル CO₂ 排出量が公開されている。表 2 は、このサイトの情報をもとに、2010 年 10 月時点の段階での 2008 年以降の PC, ディスプレイ, プロジェクタ, プリンタのライフサイクル CO₂ 排出量の平均を示している。

PC については、プロセッサやメモリ容量によって CO₂ 排出量が大きく異なる。そこで、表 2 ではプロセッサがインテル Core のものに限定している。またメモリ容量について、4GB 以下のものを「標準的 PC」、4GB を超えるものを「高性能 PC」として、これら 2 つにわけてライフサイクル CO₂ 排出量の平均を算出している。また、オフィスで利用される典型的なプロジェクタとして、解像度が 1280×800 以上のものに限定している。プリンタについては、インクジェット方式や電子写真方式などの描画方式の違いに応じて CO₂ 排出量が大きく異なる。ここではオフィスで利用される大型の共有プリンタを想定し、A3 プリントが可能な電子写真方式のプリンタ (コピー、ファックスが可能な複合機を含む) に限定している。

PC, ディスプレイ, プロジェクタについて、ライフサイクル CO₂ 排出量をライフサイクルでの総利用時間で割れば、単位時間あたりの CO₂ 排出量が算出される。これは、各製品の素材、製造、

¹ 経済産業省が提供する 2009 年の統計によれば、日本での紙の生産量に対して、OA 用紙 (PPC 用紙) の生産量は 5.0% である。

運搬、廃棄に加え、利用段階での消費電力も含めた CO₂ 排出量になっている。また、プリンタのライフサイクル CO₂ 排出量をライフサイクルでの総プリント枚数で割れば、プリント出力 1 枚あたりの CO₂ 排出量が算出される。プリンタのライフサイクル CO₂ 排出量の定義から、これはトナーの消費を含んでいるが、紙の消費は含んでいない。

そこで、OA 用紙 1 枚あたりの資源としての CO₂ 排出量を別途算出する。『CO₂ 排出原単位表 (2007 年版)』[環境情報科学センター]によると、OA 用紙 (上級印刷用紙) 1kg あたりの CO₂ 排出量は 1kg-CO₂ であり、これを OA 用紙 1 枚あたりに換算すると 4~5g-CO₂ になる。以降では、OA 用紙 1 枚あたり 5g の CO₂ 排出量に相当するものとして議論する。

4. シーンごとの CO₂ 排出量の比較

ここでは、文書を読む場合と会議で文書を共同閲覧する場合の 2 つのメディアの利用シーンを取り上げ、各々で紙を用いる場合と電子メディアを用いる場合の CO₂ 排出量を比較する。

4.1 文書を読む場合

8 ページの電子文書を読む場合を考える。8 ページの文書を両面プリントすると、紙出力は 4 枚であり CO₂ 排出量は 30.3g-CO₂ になる。一方、8 ページの文書をノート PC で 30 分間読むとすると、CO₂ 排出量は 13.8g-CO₂ になる。17 インチディスプレイを備えた標準的 PC (標準的 PC 構成) では 35.3g-CO₂、19 インチディスプレイを備えた高性能 PC (高性能 PC 構成) では 62.4g-CO₂ になる。

このような具合に、紙と上記の 3 種類の電子メディアに対して、読みの所要時間に応じて CO₂ 排出量を算出し、グラフ化したものが図 1 である。紙は出力時のみ CO₂ を排出するため、トータルでの CO₂ 排出量は作業時間に依存しない。これに対して PC では作業時間に比例して CO₂ 排出量が増加する。

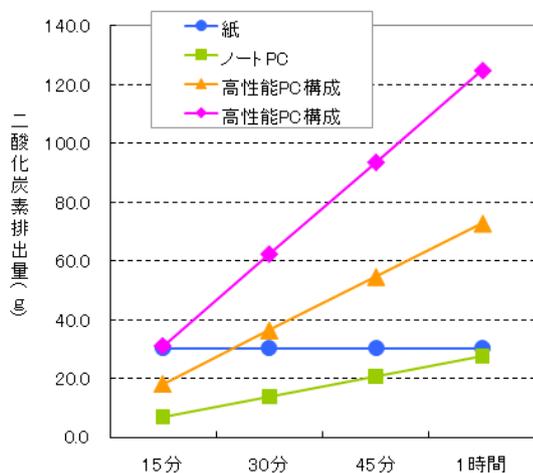


図 1 文書を読む場合の CO₂ 排出量の比較

読書時間が 30 分の場合には紙よりもノート PC で読むほうが CO₂ 排出量は少ないが、論文や技術文書などを読み込む際には 30 分で読み終わることは稀である。1 時間以上にわたって読むことを考えれば、逆に紙はノート PC よりも CO₂ 排出量が少ない。標準的 PC 構成では、30 分の文書閲覧で CO₂ 排出量が紙出力の CO₂ 排出量を超える。高性能 PC 構成では、15 分の文書閲覧で紙の CO₂ 排出量と同程度である。

別の言い方をすれば、プリント出力 1 枚は、ノート PC で 16.5 分、標準的 PC 構成で 6.4 分、高性能 PC 構成で 3.6 分の CO₂ 排出量に相当する。

CO₂ 排出量の観点からの紙と電子メディアの比較は上で示したとおりであるが、これをもとに実際の活用の場面を想定して考察を行えば、以下ようになる。紙では情報の再利用が可能であり、捨てずに取っておいて後で再び読んだり、読んだものを他人に渡したりという状況において、追加で CO₂ 排出が生じることはない。電子メディアでは、再表示の度に電力が必要になり、CO₂ の排出を伴うことになる。さらに、紙には書き込みできるという利点もある。論文や技術文書などのように、内容を吟味しながらじっくりと読み込む必要のある文書を読んだり校正する場合、あるいは一定期間内に繰り返して閲覧する場合などには、紙に出力するほうがよいことが多い。ただし、PC とディスプレイの電源を切らずに紙に出力して読むとすれば、CO₂ 排出量は紙と電子機器の両者の和になる。また、読みながら電子辞書やインターネットで随時検索を行う状況を考えると、PC やディスプレイの電源を切ることもできないため、電子的な閲覧のほうが望ましいといえる。

素材や製造段階での CO₂ 排出量、消費電力や書き換え時間などの仕様が明らかにされていないため、ここでは比較対象から外したが、電子パーパーを組み込んだ電子書籍端末 (典型例として、Amazon 社の Kindle) についても検討が必要である。電子パーパーは目に優しく、軽量・薄型で、折り曲げ可能という利点をもつが、環境負荷の観点からは省電力という点に注目する必要がある。電子パーパーでは、書き換え時のみ電力を消費し、情報の表示を維持するのに電力を必要としない (電子パーパーの技術的な詳細については面谷による解説書 [面谷 03] を参照)。Kindle の場合、1 回の充電で 1 週間以上の継続的利用が可能だといえる。省電力であり、少なくとも利用段階における CO₂ 排出量は少ないと考えられる。正確な比較が可能になるよう、製品の仕様とライフサイクル CO₂ 排出量についての公開が待たれる。

4.2 会議で文書を共同閲覧する場合

会議のシーンで、紙の資料を配布する場合とプロジェクトで電子文書を投影する場合を比較する。5 人参加の 1 時間の会議で、10 ページの文書を両面プリントして全員に配布するとプリント枚数は全部で 25 枚になり、CO₂ 排出量は 189.5g-CO₂ になる。配布資料の紙の枚数は会議への参加人数に比例し、参加人数と CO₂ 排出量の関係は図 2 のようになる。

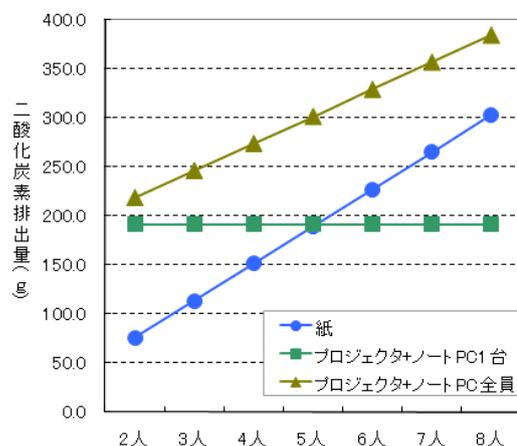


図 2 会議で文書共同閲覧する場合の CO₂ 排出量の比較

これに対して、ノート PC をプロジェクタに接続して投影するモデルでは、CO₂ 排出量は会議時間に比例し、参加人数には依存しない。ノート PC とプロジェクタを用いて 1 時間投影すると、CO₂ 排出量は 191.4g-CO₂ であり、紙 25 枚のプリントに伴う CO₂ 排出量の値にほぼ等しい。この条件で比較すると会議で配布する紙が 25 枚以上ならプロジェクタの方が CO₂ 排出量が少なく、25 枚より少ないなら紙の方が CO₂ 排出量が少なくなる。前節にならって、プリント出力 1 枚あたりに換算すると、プリント出力 1 枚はノート PC とプロジェクタを用いた投影 2.4 分の CO₂ 排出量に相当する。

また、実際の会議では、参加者の多くがノート PC を持ち込み、うち 1 人がノート PC をプロジェクタに接続してプレゼンテーションを行うスタイルもしばしば見られる。参加者全員がノート PC を会議室に持ち込むことを想定したモデルでは、参加人数に応じて CO₂ 排出量が増加することになる。このモデルでの CO₂ 排出量が紙での資料配布の場合と逆転する（紙で配布するほうが CO₂ 排出量が多くなる）には参加人数が 16 人以上でなくてはならない。

配布資料の少ない 2~3 名程度の打合せで話し合い中にメモを取ったりするのであれば、紙を用いる方が望ましく、逆に大人数に対するプレゼンテーションではプロジェクタを用いる方が望ましいことになる。

5. むすび

本稿では、表示メディアとしての紙の CO₂ 排出量を電子メディアと比較した。どちらの CO₂ 排出量が少ないかという問題は、状況に依存する。資源としての紙の CO₂ 排出量はプリント出力時の 1 回きりのものであるため、作業時間に依存しない。これに対してディスプレイやプロジェクタの電子機器では、情報を表示するために継続して電力が消費されるため、CO₂ 排出量は作業時間に比例して増加する。概して、短時間の作業の場合には電子機器、長時間の場合には紙のほうが CO₂ 排出量が少なくなる傾向にある。これに加えて会議での情報共有の場合には、配布物は会議への参加人数に比例する。概して、少人数の会議では紙、大規模な会議では電子機器のほうが CO₂ 排出量が少なくなる傾向にある。

情報が公開されていないために今回は分析対象から外したが、iPad や Kindle を代表とする電子書籍端末が、今回の分析のなかでどのような位置づけになるのかは興味深い。情報の公開が待たれるところである。また、蓄積や伝送といった表示以外のメディアの利用シーンについても、シーンをモデル化し、各メディアの CO₂ 排出量を比較検討していきたいと思う。

商標について

- Kindle[®]は、アマゾン米国およびその他の国における登録商標または商標です。
- iPad は、Apple Inc. の商標です。
- その他、掲載されている会社名、製品名は、各社の登録商標または商標です。

参考文献

[Adler 98] Adler, A., Gujar, A., Harrison, B., O'Hara, K., Sellen, A.J.: A diary study of work-related reading: Design implications for digital reading devices, in Proc. CHI '98, pp.241-248, (1998)

- [伊藤 08] 伊藤 裕二, 川本 真司, 青柳 雅明: 日本のオフィスの平均的 CO₂ 排出量試算と削減の可能性検討. エコデザイン 2008 ジャパンシンポジウム. (2008)
- [石川 10] 石川 幸憲: キンドルの衝撃, 毎日新聞社, (2010)
- [環境情報科学センター07] 社団法人環境情報科学センター: CO₂ 排出原単位表 2007 年版. (2007)
- [日本製紙連合会] 日本製紙連合会: <http://www.jpa.gr.jp/>
- [O'Hara 97] O'Hara, K., and Sellen, A.J.: A comparison of reading paper and on-line documents, in Proc. CHI '97, pp.335-342, (1997).
- [O'Hara 02] O'Hara, K.P., Taylor, A., Newman, W., and Sellen, A.J.: Understanding the materiality of writing from multiple sources, International Journal of Human-Computer Studies, Vol.56, No.4, pp.269-305, (2002).
- [王子製紙 09] 王子製紙 編: 紙の知識 100. 東京図書, (2009)
- [面谷 03] 面谷 信: 紙への挑戦: 電子ペーパー, 森北出版, (2003)
- [大村 10] 大村 賢悟, 柴田 博仁: 人はなぜ紙を好み続けるのか: 紙と電子メディアに対する意識調査. 紙業タイムス, Vol.62, No.10, pp.18-30, (2010)
- [産業環境管理協会] 産業環境管理協会 エコリーフ環境ラベル: <http://www.jemai.or.jp/ecoleaf/>
- [Sellen 97] Sellen, A. and Harper, R.: Paper as an analytic resource for the design of new technologies, in Proc. CHI '97, pp.319-326, (1997)
- [Sellen 01] Sellen, A.J. and Harper, R.H: The myth of the paperless office. The MIT Press, 2001. (柴田 博仁, 大村 賢悟 訳: ペーパーレスオフィスの神話. 創成社, 2007)
- [柴田 10] 柴田 博仁, 大村 賢悟: 環境にやさしいメディアの選択, 第 24 回 人工知能学会 全国大会, (2010).
- [テックタイムス 09] テックタイムス: 改めて「古紙と環境」を考える. 紙業タイムス, (2009)