



WiseHarbor Spotlight Report

キース・マリンソン (Keith Mallinson) 、2015 年 8 月 18 日

ワイヤレス給電、急拡大する EV 量産市場への準備万端

キーポイント：	ワイヤレス給電技術は EV 量産市場に対応できる有効性と経済性を備えつつある。
レポートの焦点：	DD コイル技術およびバイポーラコイル技術の進展による EV ワイヤレス給電 (WEVC) パッドの性能の向上。これらの技術の標準化と商用化。
対象読者：	規格会議への参加者を含む、自動車業界のティア 1 サプライヤおよび自動車メーカーのプロダクト・マネージャーおよびエンジニアリング・マネージャー

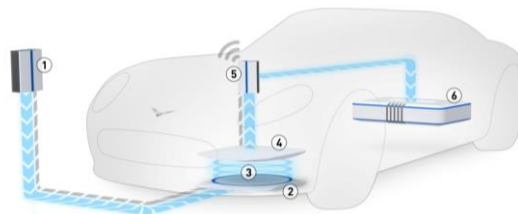
エグゼクティブサマリー

近年、電気自動車 (EV) のワイヤレス給電は飛躍的に進歩し、急成長中の EV 量産市場への普及に向けた準備が整いました。ワイヤレス給電 (IPT : Inductive Power Transfer) は抜群の有効性に加え、コンパクトで使いやすく、安全に使用でき、EV の量産に対応できる経済性を備えつつあります。電動バスへの一括導入など、特定用途での限定的な導入は、EV 給電のコンセプト実証に向けた格好の試験台となりました。しかし、これらのシステムで採用された円形コイル技術は、すでに性能的な限界が見えて来ました。

円形コイル技術を発展・改良した DD (Double D) コイル技術やバイポーラコイル技術は、電力伝送の大幅な向上、位置ずれ許容度の向上、軽量化や小型化を可能にします。しかも、高度なパワーエレクトロニクス回路を必要としないため部品コストの低減にもつながります。環境、技術、経済的要因によって EV 需要が大幅に高まりつつあるなか、自動車業界のティア 1 サプライヤや自動車メーカーによる量産に向けた標準化と導入の機は熟しています。

参考資料 1

ワイヤレス給電による高速で静かな充電



① Power Supply ② Transmitter Pad ③ Wireless Electricity & Data Transfer
④ Receiver Pad ⑤ System Controller ⑥ Battery

- I. はじめに
- II. 電気自動車（EV）の台頭
- III. プラグ不要の EV
- IV. WEVC の課題に対応
- V. 長期に及ぶ大規模な IPT 技術の研究開発
- VI. 極めて有効性の高い DD およびバイポーラコイル技術
- VII. 安全且つ規格に適合し、標準化に対応可能
- VIII. 機が熟し、量産への導入へ

I. はじめに

本レポートは、ワイズハーバーによる WEVC に関する特集レポートの第 1 弾となります。本特集は Qualcomm Technologies, Inc. の委託で作成されました。今回は DD コイル技術とバイポーラコイル技術など、使用されるコイルやパッド及び関連技術をめぐる動向に焦点を当てます。次回以降のレポートでは、ワイヤレス給電のシステムの側面、異物検出や生体保護に使われる重要度の高い安全技術をテーマとして取り上げる予定です。

II. 電気自動車（EV）の台頭

電気自動車（EV）とプラグインハイブリッド車（PHEV）の需要と供給は急速に拡大しています。現在、都市部を中心に炭素排出量の削減と空気の質向上に向けた政治的、規制上の圧力が高まっています。比較的低い水準にあった EV/PHEV の普及率は、技術の向上、公共充電ステーションの増加、税優遇措置や、よりクリーンで効率的な自動車動力源を求める消費者の要望によって上昇しています。InsideEVs.com¹が発表した調査によると、2014 年の米国におけるプラグイン車の販売台数は、前年比で 23% 増、前々年比で 128% 増の 12 万台に達しました。しかし、米国国内における自動車全体の販売台数は 1,650 万台にのぼり、プラグイン車が占める割合はまだ 1% に届きません。2014 年の世界の電気自動車販売台数は 28 万 3,000 台でした。スコシアバンクの調査によると、同年の総自動車販売台数は 7,100 万台²にのびました。自動車普及率の上昇、都市化の進行、内燃機関に課される排気ガス規制はかつてないほど厳格化しています。こうした背景³をもとに、電気を主たる、もしくは唯一の動力源とし、インフラからの充電を必要とする自動車の割合は今後 10 年間にわたり飛躍的に上昇する見通しです。

III. プラグ不要の EV

従来の電気自動車（EV）の大きな短所は、頻繁にプラグを差し込む必要があることでした。ガソリン車であれば、燃料タンクを満たす必要が生じるのは、少なくとも数百マイル運転した後のことであり、ガソリン補給は週に一度、ないしは 2 週間に一度で済みます。それに対して EV は通常、充電が毎日必要であり、駐車時に毎回充電することが理想的とされています。プラグイン充電はやっかいで面倒です。風雨に晒された充電ケーブルは、重くて扱いにくく、使用者が汚れる事もあるからです。また、公

¹ <http://insideevs.com/monthly-plug-in-sales-scorecard/>

² http://www.gbm.scotiabank.com/English/bns_econ/bns_auto.pdf

³ https://www.theaa.com/motoring_advice/fuels-and-environment/euro-emissions-standards.html

共充電ステーションは通りの景観を損ね、破壊行為に対して無防備です。PHEVの運転者の中には、面倒くさがってめったにプラグイン充電を行わない人も少なくありません。これでは、立法者たちが排出量削減目標値を定めて想定している、達成可能な低排出ガス平均値を目指した取り組みにマイナスに作用することになります。こうした要因のために WEVC は欠かせません。

IV. WEVC の課題への対応

充電に時間がかかる電気自動車の最重要課題は充電電力を最大限に高めることです。現在の WEVC システムは、わずか 5 年前には不可能だった、もしくは想定すらされていなかったほどに高性能化しました。地面に埋め込まれた送電用パッドから車体下面に取り付けられた受電用パッドへのワイヤレス伝送の電力は今では、重くてかさばる充電ケーブルとプラグ、ソケット、道路脇の架台を使う従来方式と同程度まで向上しました。磁界共鳴技術および関連の電子制御技術の進展により、大きいエアギャップ（空隙）やバラツキのあるエアギャップを介して大電力の伝送を安全に達成できるようになり、位置合わせ許容誤差も十分に確保できます。これは高度なコイルパッド構成と、車両バッテリー管理システムと緊密に連携し最適に動作するパワーエレクトロニクス技術によって可能になりました。現在では、他の自動車部品と同様に低コストで量産可能なシステムを使って、自動車やバス、トラックなどの車両を 3.3kW～20kW、あるいはそれ以上の電力で充電することが可能になっています。

DD コイル技術やバイポーラコイル技術を使用する最先端の WEVC システムは、高性能で使いやすく、安全に使用できます。これらは次のような性能や機能、特長を提供します。

- 3.3kW～20kW の高効率電力伝送
- X 方向（車両前後方向）と Y 方向（車両横方向）の位置合わせ、および最低地上高の低いスポーツカーから車高の高い SUV まで、多様な Z 方向（垂直方向）の伝送距離に対する十分な許容度
- 地面への埋込型、地面同一平面型、表面設置型いずれかのベースパッド（送電用パッド）を使用し、車両側パッドは車体底面に搭載され隠れて目立たない設計
- 一次側のインフラ側制御回路と二次側の車両側制御間の通信によって、最大限のエネルギー伝達を達成するための自己最適化機能
- 完全統合された位置合わせ支援機能により、自宅、職場、公共空間での駐車時に位置合わせが容易になり、EV 給電が大きく変化
- 異物検出・生体保護システムにより安全に使用可能
- バイポーラコイル制御において模擬 DD モードから CR モード動作への動作切り換えによる円形矩形（CR）の車両側パッドとの互換性を実現

V. 長期に及ぶ大規模な IPT 技術の研究開発

ごくシンプルに見える工夫の中には、長年に及ぶきわめて大がかりな不断の研究開発努力が実を結んだものがあります。たとえば、ダイソンのハンドドライヤー

「Airblade（エアブレード）」に採用されている最新の“slot in a box”デザインは、徹底した開発作業に基礎を置いています。同様に、創業者ジェームズ・ダイソンの自伝によると、同社が特許を取得している紙バッグ不要のデュアルサイクロン掃除機は、長い歳月を費やして 5,127 点の試作品を作製・テストした後に商品化され、最終的に大成功を収めました。

また同様に、コイル設計とパワーエレクトロニクスを含む、現在実用可能な極めて高性能なワイヤレス給電技術も、トーマス・エジソンの言葉を借りるなら、長年の「ひらめきと汗」から生まれたものです。たとえば、オークランド大学（ニュージーラン

ド)は1988年から世界に先駆けてIPTの研究開発を行い、その成果は1995年からAuckland Uniservices (オークランド・ユニサービシーズ)社によって、また、2010年からはHalo IPT社によって商品化されました。開発された技術は物流業務向けに商業利用されているほか、乗客輸送システムにも使用されています。このためには大規模な産学の取り組みが必要となり、博士課程の学生とスタッフが数十人規模で、理論レベルやコンピュータ・シミュレーション、数多くの試作品作製などで磁気共鳴技術を研究開発した末に商用化が実現しました。具体的には、複数のコイルを備えたパッド向けのコイル・フェライト構成、リッツ線の間隔と線径の最適な設計レイアウト(使用する高周波数での表皮効果を克服)、パワーエレクトロニクスにおける各種要素の高度な制御といった革新的な開発が行われました。

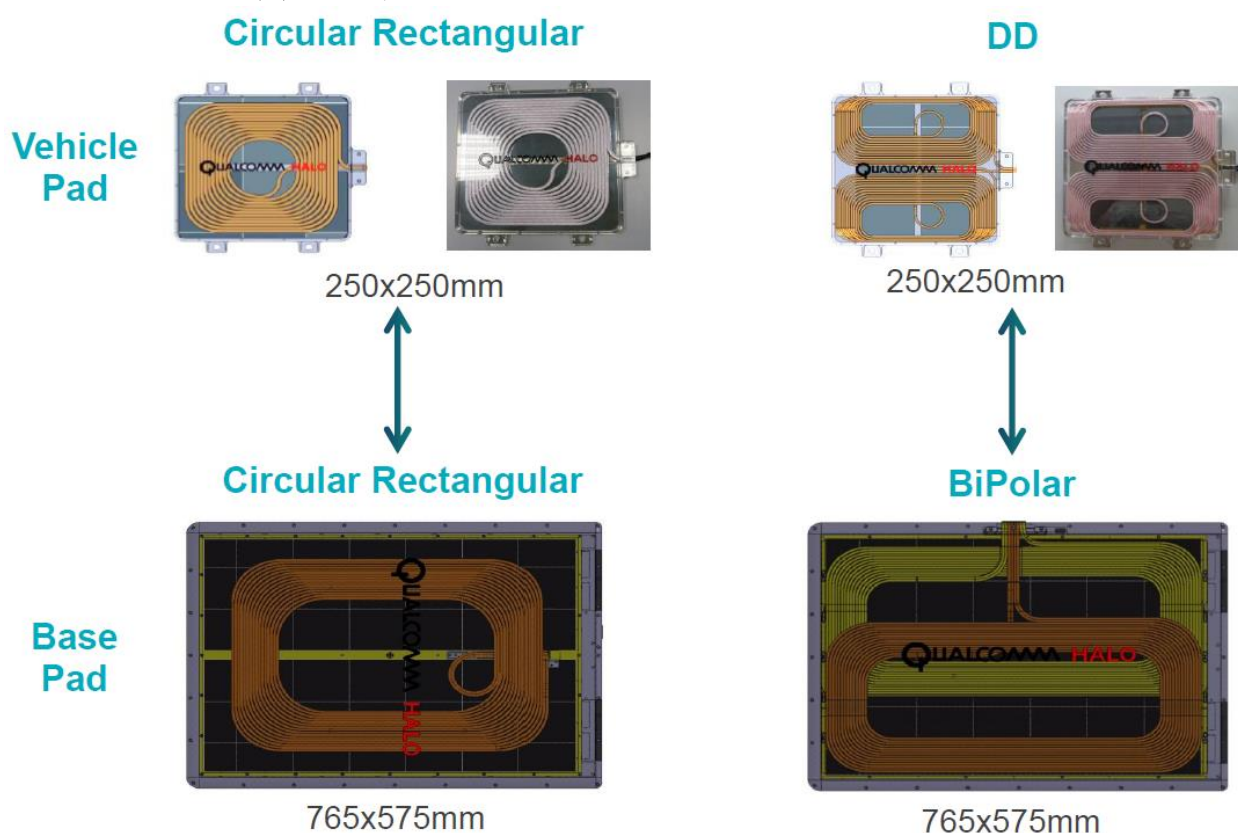
VI. 極めて高性能なDDコイル技術およびバイポーラコイル技術

このような長年にわたるコイル技術とパッド技術の向上により、性能面で大きな進歩が見られました。円形コイルやCRコイル構成でも十分な伝送電力を達成できるケースはありますが、これらの設計は比較的大型のパッドを必要とし、その無極性の磁界パターンは大幅に改良されてきました。技術開発における次なる大きな一歩は、ある一定のサイズや重量のパッドで、より高い電力伝送を可能にする各種のソレノイドコイル技術による対応でした。しかし、これらはまた、許容できないほど高い磁束損失の発生につながり、そのために過熱や、他の電気システムへの有害な電磁干渉が引き起こされかねませんでした。

DDコイルを車両側に、バイポーラパッドをインフラ側に採用しようとする数年に及ぶさらなる研究開発から、現在の最も効果的かつ互換性の高い設計が生まれました。改良されたDDコイル技術およびバイポーラコイル技術によるワイヤレス給電は、充電電力・効率が有線充電並みに高く、CRコイル技術およびソレノイドコイル技術よりも優れています。

参考資料 2

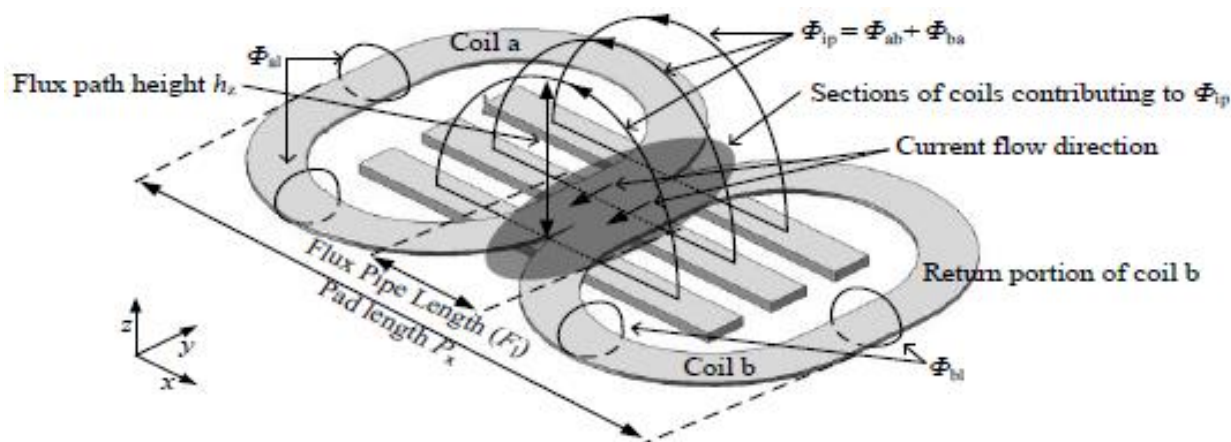
CRコイルを改良した、DDコイルおよびバイポーラコイル



円形コイルやCRコイルは、比較的広くて低く、リングドーナツの形をした無極性の磁束を発生させます。ソレノイドコイルは磁束に極性を与え、必要とされる方向へ磁路設計しますが、パッドの反対側に一定の戻り磁束が生じ、両端からも磁束があふれ出ます。これに対し、DDコイルおよびバイポーラコイルは細くて比較的高さのある「磁束パイプ」を発生させます。CRコイルに比べてコンパクトな設計が可能になり、相対的に磁束放射も抑えられます。これにより、大きなエアギャップを介してベースパッドと車両側パッドの間でフルパワーでの磁界結合が可能になり、位置合わせ許容度も十分に確保されます。

参考資料 3

DDコイルによる磁束パターンの改良



DD およびバイポーラコイルの技術的特性および利点は、円形コイルと比較した場合の製品性能上および経済的優位性に寄与します。Qualcomm は綿密なハードウェア試験の積み重ねにより優れた性能を定量化しました。

参考資料 4

パッド/コイル構成の性能比較

	円形	DD	摘要
伝送可能な電力	-	++	円形に比べて約2倍の電力を伝送可能（同一パッドサイズ、X、Y、Z軸位置ずれ最大）
車両側パッドのサイズ	-	++	DDパッドは約40%小型（同一伝送電力の場合）
車両側パッドの重量	-	+	DDパッドは約35%軽量（3kgの軽量化）（同一伝送電力の場合）
システム材料費	-	+	DDは約10%低コスト（同一伝送電力時）。主に、DDの方がVA要件が低いため。
X/Y 位置ずれ許容度	-	++	DDは $X = \pm 100\text{mm}$ 、 $Y = \pm 150\text{mm}$ で、円形は $X = \pm 75\text{mm}$ 、 $Y = \pm 100\text{mm}$ でのみフル出力を伝送可能（ともに同一パッドサイズの場合）
Z 軸ギャップ範囲	-	++	DDは160~220mmのZ軸ギャップ範囲全体でフル出力伝送、円形の出力は $Z=220\text{mm}$ で大幅に低減（いずれも同一パッドサイズの場合）
磁束放射	++	+	国際的な不要放射の要件値に両タイプとも適合

VII. 安全且つ規格に適合し、標準化に対応可能

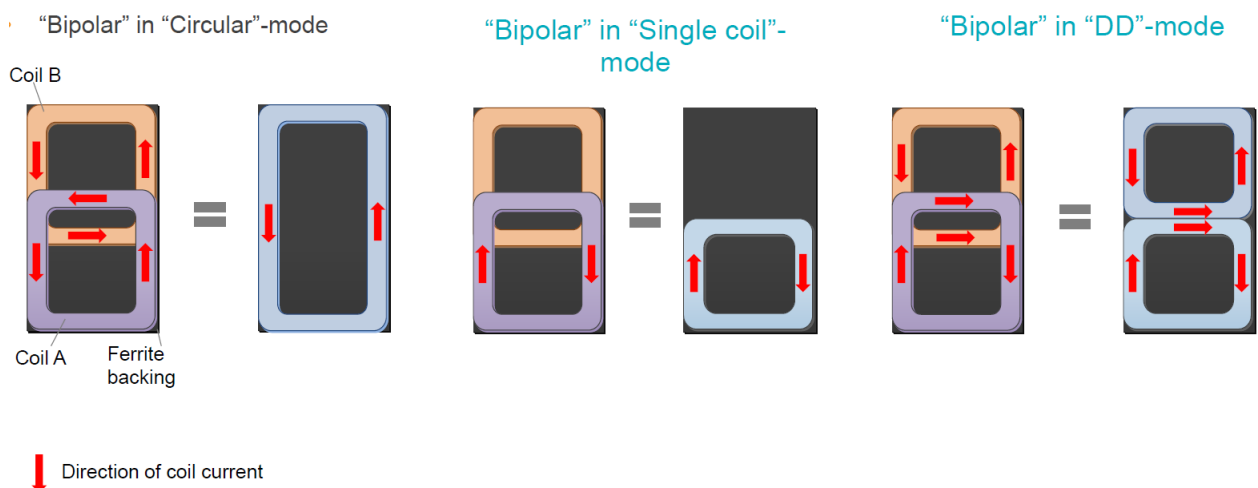
WEVC 技術は、国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）の要件と指針をはじめ、潜在的に有害な電磁放射に関するさまざまな要件や指針への適合を可能にします。また、WEVC システムには、異物検出機能や生体保護機能（今後の特集レポートで取り上げる予定）によって安全性を高める補助的なシステムも含まれます。

また、WEVCシステムは、有効性と互換性の極めて高い技術に適用される国際規格にも適合しなくてはなりません。たとえばWi-Fiやイーサネットの規格を定めているIEEEなどの規格策定組織の場合のように、数多くのさまざまな情報通信開発者が最も有効性の高いハードウェアやソフトウェアを規格に提供すべく競争と協力を繰り返しています。これらは数多くのさまざまなメーカーによって高性能で互換可能な部品や半組立品、完成品に利用されます。同様に、SAEは、自動車業界における安全性をはじめ有効性、品質、互換性に関する規格を策定しています。

DDコイル技術を採用したWEVCシステムは高性能なことから、DDコイル技術はSAEやISO、IECといった規格制定機関、ティア1サプライヤや自動車メーカーなどの自動車業界による標準化と採用の候補として注目を集めています。これはCRなどその他のコイル技術の使用を排除するものではありません。標準化における大きな目標の一つは、可能なかぎり異種技術間の互換性を提供することにあります。また上述のようにパワーエレクトロニクスやソフトウェアにおける最適化などの綿密な開発作業の結果として、バイポーラ・ベースパッドはCRモードとDDモードで動作の切り換えが可能です。これはCRパッド、DDパッドのいずれが取り付けられている電気自動車でも、公共充電ステーションで充電を効果的に行えることを意味します。

参考資料 5

バイポーラコイルの動作モード



VIII. 機が熟し、量産への導入へ

技術を熟知した専門スペシャリストによって開発されたWEVC技術が、さまざまなティア1企業や自動車メーカーによって本格的に導入される準備が整いました。

WEVCシステムの開発には、ライセンス契約に基づいた産業構造が適しています。この産業構造は、製品開発・生産のためにティア1サプライヤ(部品サプライヤやシステム・サプライヤ)へのリファレンスデザインの提供や技術移転から成ります。それらの設計や技術を使ってティア1サプライヤは、通常通りの供給方法で自動車メーカーへの供給を行えます。コイルとパッド、パワーエレクトロニクス、補助的な技術の開発に加え、すべてのサブシステムを包括的に統合して高性能で規格に適合したWEVCシステムを構築するには、継続的に広範な専門分野に取り組みねばなりません。約90%のPCとスマートフォンの約80%が同じOSを使用している情報通信分野の場合と同様、自動車業界などの産業分野でもさまざまな種類の企業がバリューチェーンのさまざまな層に特化し、「水平化」を進めていきます。これはスケールメリットの追求と、バリューチェーンの各層において有効なコアコンピテンシーに焦点を当てる必要があるからです。

この水平化された供給構造によるアプローチは、技術的にも商業的にも WEVC に最適です。ティア 1 及び自動車メーカー各社は、すべてを自社で行う場合に比べて何分の一という低コストで最良の技術を取得でき、しかも、最初やそれ以降の製品や技術で市場投入を大幅に迅速化できます。他方、WEVC 技術のライセンスは下記の活動に注力します。

- 中核技術および補助技術の継続的な開発、ならびに技術間およびバッテリー管理などの関連システムとの最適な統合
- 安全要件を含む国内および国際的な規制への適合
- 相互に協力し、さまざまな規格開発機関に寄与する中での広範な活動を含む、最良の改良技術の選択と互換性の確保に向けた標準化

このアプローチは、大きく異なる製品やサービスを持つ企業間の分業という点で効率的かつ効果的であると同時に、サプライチェーン全体においてイノベーションと競争を促すことで最良かつ最もコスト効率に優れた WEVC システムを創出できます。協業的なアプローチであるために、多数のさまざまな企業が、パートナー各社にそれぞれのコアコンピタンス（中核技術）で力を発揮してもらいつつ、自社が最も得意とすることを行えます。これによりティア 1 サプライヤはコストと品質、機能に基づく自社製品の差別化に注力することが可能です。これは複数のレベルでスケールメリットを最大化し、全体的なコストとリスク、市場投入時間を最小化します。

関連文献

John T. Boys and Grant A. Covic. "The Inductive Power Transfer Story at the University of Auckland." *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 2015 年第 2 四半期
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=7110451&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F7384%2F7110439%2F07110451.pdf%3Farnumber%3D7110451>

Adeel Zaheer, Hao Hao and Grant A. Covic. "Investigation of Multiple Decoupled Coil Primary Pad Topologies in Lumped IPT Systems for Interoperable Electric Vehicle Charging." *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, Vol. 30, No. 4, 2015年4月.
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=6827937>

WiseHarbor について

2006 年に設立された WiseHarbor（ワイズハーバー）は、ワイヤレス／通信技術市場の業界アナリスト、専門コンサルタントです。WiseHarbor は多数の大企業やグローバル企業を顧客に擁しており、技術や商業、規制面のさまざまな課題に関して業界誌や業界団体向けに頻繁に記事を発表しています。取り扱い案件は商業・財務分析や専門家証人としての証言などです。

[図表]

参考資料 1

1 電源装置

2 送電用パッド

3 電力とデータのワイヤレス伝送

4 受電用パッド

5 システム・コントローラ

6 バッテリ

参考資料 2

Circular Rectangular	円形矩形
DD	DD
Vehicle Pad	車両側パッド
Circular Rectangular	円形矩形
BiPolar	バイポーラ
Base Pad	ベースパッド

参考資料 3

Flux path height	磁束パス高
Coil a	コイル a
Sections of coils contributing to Φ_{ip}	Φ_{ip} に寄与するコイル部位
Current flow direction	電流方向
Return portion of coil b	コイル b の戻り部分
Coil b	コイル b
Flux Pipe Length	磁束パイプ長
Pad length	パッドの長さ

参考資料 5

"Bipolar" in "Circular"-mode	「バイポーラ」の「円形」モード動作
"Bipolar" in "Single coil"-mode	「バイポーラ」の「単一コイル」モード動作
"Bipolar" in "DD"-mode	「バイポーラ」の「DD」モード動作
Coil B	コイル B
Coil A	コイル A
Ferrite backing	フェライト支持板
Direction of coil current	コイル電流の方向