

音声対話システムの斬新な出力インターフェース

小池誠^{1, 2, a)}

概要: 本稿は、音声対話システムの出力インターフェースとして、マイクロ波聴覚刺激を応用した無線通信を提案する。この無線通信の原理は、音声信号で振幅変調し、次にパルス変調し、更に頭部に向けてパルス変調されたマイクロ波ビームを照射する。マイクロ波聴覚刺激により頭部が復調器として機能し、頭の中に直接、音声聞こえる。

キーワード: 音声対話システム、マイクロ波聴覚刺激、ブレイン・マシン・インタフェース、パルス変調、人工テレパシー、フィルターバンク、サイバネティクス

Novel Output Interface of Spoken Language System

MAKOTO KOIKE^{†1, †2, a)}

Abstract: Herein I propose a novel output interface of the spoken language system as a wireless, receiverless communication with the application of microwave auditory effect. In the principle of the wireless, receiverless communication, an amplitude of an acoustic signal is modulated, and then the amplitude-modulated signal is further pulse modulated to generate a string of pulses. A microwave beam, which is thus pulse modulated, is impinged upon the head of a receiver so as to induce the microwave auditory effect. The head serves as a demodulator so as to produce speech within the head.

Keywords: Spoken language system, microwave auditory effect, brain-machine interface, pulse modulation, artificial telepathy, filter bank, cybernetics

1. はじめに

従来、音声対話システムは、テキストを生成して、次にテキストから音声を合成し、更にこの合成音声スピーカーから出力される。このようにして出力された音声は空気を伝搬し、人間の耳を経由して音声が伝えられる[1]-[10].

このようにスピーカーが音声対話システムの出力インターフェースに標準的に採用されているのだが、その理由を考察すると、多種多様なスピーカーが安価に簡易に入手できるという要因や、音は聞こえるが、電波は聞こえないという先入観、偏見、誤解に起因する。

しかしながら、マイクロ波がパルス波形のときには聴覚を刺激する現象が観察されており、マイクロ波聴覚刺激と命名されている[11]-[18]。マイクロ波聴覚刺激は永年に渡って再現実験が報告されており、既に科学として確立されている。

すると、マイクロ波聴覚刺激を応用すると、マイクロ波を頭部に照射することにより、頭部に直接、音声を伝えることができるということになる[19]-[21]。これは一種の無線通信であり、頭部が受信機として機能するということがある。あるいは、科学技術の進歩により、テレパシーが可能になることを意味するものである。人工知能という用語を参考にすると、人工テレパシーと命名することができる。

そこで、本稿は音声対話システムの出力インターフェースにマイクロ波聴覚刺激を応用した無線通信、即ち、人工テレパシーを提案するものであり、図1にその概略を示す。

なお、本稿では「対話」という用語は、会話、雑談、チャット、談話などの類義語を包含する広義に用いているが、軍事用途では、タスクを志向しない雑談システムの出力インターフェースに人工テレパシーが応用されている。

マイクロ波聴覚刺激もマイクロ波聴覚刺激を応用した無線通信もさほど知られているものではないので、以下、沿革を含めて、これらについて詳述する。



図1 音声対話システムの出力インターフェース
Figure 1 Output Interface of Spoken Dialogue System

¹ 小池誠マイクロ波研究所
Makoto Koike Microwave Research Institute

² マイクロ特許事務所
Micro Patent Office

^{a)} patencom007@gmail.com

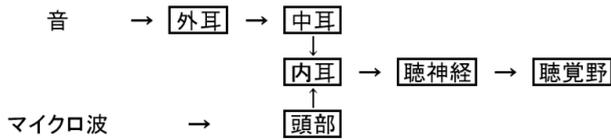


図 2 音及びマイクロ波が伝わる経路
 Figure 2 Pathways of sound and microwave

2. 沿革

マイクロ波聴覚刺激も、マイクロ波聴覚刺激を応用した通信も、受信者の頭部にマイクロ波ビームを照射する制御も、パルスレーダーと密接に関連することから、レーダーの歴史を簡単に振り返る。

マイクロ波は最初にレーダー、特に軍用レーダーに応用されたのだが、国家安全保障に関わることもあり、1920年代以前のレーダー黎明期のことは良く分かっていない。

1930年代にイギリスが多数のレーダーから構成される監視網、Chain Home をグレート・ブリトン島の海岸線に沿って整備した[22]。すると、このようなレーダー・ネットワークを構築する前、それなりの研究開発はされていたのに違いがないのが、その詳細は明らかにされていないのである。

軍用パルスレーダーに使われているマイクロ波パルスが音として聞こえる現象は第二次世界大戦中に観察されている。しかしながら、この事実が明らかにされたのは1980年代以降であり[19]-[21]、その詳細は軍事機密に指定されていたのは確実である。

1960年前後からマイクロ波が聴覚を刺激する現象について学術論文が公表され始めており、1980年代にはマイクロ波が聴覚を刺激する現象はその生理機構を含めて確立されていた[11]-[13]。従って、1980年代に至っては、マイクロ波パルスが第二次世界大戦中に聞こえたという観察事実について秘密を維持する必然性が乏しくなっていた。

3. マイクロ波聴覚刺激

図 2 に示すように、通常の音、即ち、気導音は、外耳、中耳、内耳と順番に伝わる。これに対して、マイクロ波聴覚刺激では外耳も中耳も経由することなく、別箇の経路で内耳に刺激が伝わり、内耳より下流の経路は音刺激もマイクロ波聴覚刺激も全く同一である[11]-[14]。内耳の蝸牛がインパルスに変換し、インパルスが聴神経を経由して脳に伝わり、脳で音として認識される[17]、[18]。

マイクロ波聴覚刺激の生理機構の核心は、マイクロ波が頭部を加熱して、頭部組織に含まれる水分が熱膨張することであり、この熱膨張に起因して、頭部組織を媒質とする

音波が発生するのである[15]、[16]。この熱膨張がパルス照射時間という瞬間的なときには音波が発生する。一方、熱膨張が連続的のときには音波は発生しない。

音波の発生に関して、パルスと連続波が全く異なる挙動を示すのだが、これは一般的な現象である。例えば、鉛筆をテーブル表面に落としたとき、鉛筆がテーブル表面に圧力をかける時間は瞬間に過ぎないが、この瞬間にテーブル表面が振動して音が発生する。一方、テーブル表面に鉛筆が置かれ、鉛筆が静止しているときには、鉛筆がテーブル表面に連続的に圧力をかけているが、このように連続的に圧力をかけてもテーブル表面は振動せず、音も発生しない。同様にマイクロ波加熱に起因する熱膨張がパルス照射時間という極めて短いときには、頭部組織に含まれる水分に音波が発生する一方、マイクロ波加熱に起因する熱膨張が連続的に継続するときには、頭部組織に含まれる水分に音波が発生しないのである。このように頭部はマイクロ波を音波に変換するトランスデューサとして機能する。

4. マイクロ波聴覚刺激を応用した通信

4.1 緒言

マイクロ波が音として聞こえる現象がある以上、理論的には、音声信号でマイクロ波を変調することにより、人間の頭部に直接、音声伝える通信が可能ということになる。

このような通信方式の原理を検討すると、マイクロ波聴覚刺激はマイクロ波がパルス波形のときに発現することから、パルス変調を応用することになる。また、音声信号の音響エネルギーが大きいときには、マイクロ波パルスが頭部に伝える電磁波エネルギーを大きくすることが求められるので、振幅変調を応用することになる。即ち、新たな通信方式の概要としては音声信号が振幅変調され、更にパルス変調されることになる。

実はこのような通信方式は既に公表されており、米国空軍が 2 件の米国特許を取得している。一方が米国特許 6470214 号であり、他方が米国特許 6587729 号である[19]、[20]。図 3 にこの通信方式、即ち、人工テレパシーの概略を示すとともに、以下、この米国空軍特許の概要を紹介する。

4.2 フィルター

図 3 では、フィルター31 に音声信号 $a(t)$ を入力し、フィルター31 が $a(t)As(f)$ という信号を出力する[19]、[20]。フィルター31 の機能は、下記の通りである。

空気を伝わる音、即ち、気導音は外耳道、鼓膜、耳小骨を経由して内耳に伝わる。人間の耳は 15000~20000Hz 以下の周波数に対応する音を認知することができる。しかしながら、音の閾値は周波数に依存しており、人間の聴覚系は周波数に応じて増幅する割合が異なる。したがって、マイ

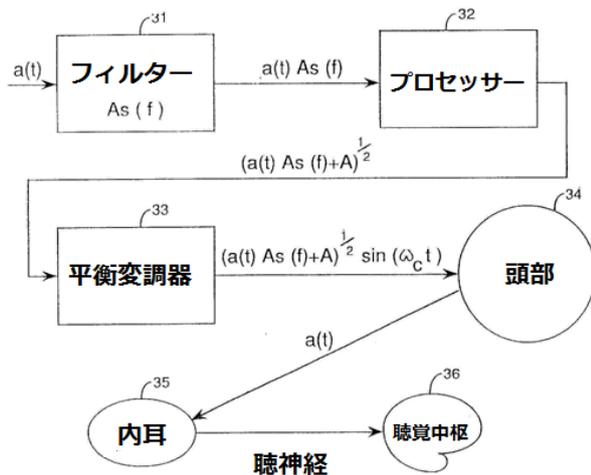


図3 マイクロ波聴覚刺激を応用した無線通信、即ち、人工テレパシーの概略：文献[19], [20]の図3を改変して引用
 Figure 3 General scheme of wireless communication with microwave auditory effect, i.e. artificial telepathy. Fig. 3 in references [19] and [20] is cited with modification.

クロ波聴覚刺激で音声を伝えるときには、同様の周波数特性を付与しないと音が歪むことになる。そこで、聴覚系の周波数特性を考慮して、フィルター31で音の歪みを調整する。音の周波数に依存して歪みが異なるので、フィルター31の特性は周波数 f の関数、 $As(f)$ と表記する。

ところで、フィルター31としてはフィルターバンクを使うことになるのだが、マイクロ波聴覚刺激を応用した通信に適したフィルターバンクの詳細については後述する。

4.3 プロセッサ

図3で、フィルターの出力 $a(t)As(f)$ をプロセッサ32に入力し、プロセッサ32が入力値の平方根を出力する[19], [20]。とはいっても、平方根が虚数になるのは不適切なので、一定の定数 A を加算した後、平方根を計算する。具体的には、プロセッサ32は、下記の数式(1)で表現される信号を出力する。

$$\{a(t)As(f)+A\}^{1/2} \quad (1)$$

マイクロ波聴覚刺激では、頭部がトランスデューサとして機能して、マイクロ波パルスの電磁波エネルギーが音響波の音響エネルギーに変換される。この変換に伴って、音響エネルギーは、電磁波エネルギーの2乗に比例する。従って、所望の音響エネルギーが頭部に発生するためには、電磁波エネルギーが音響エネルギーの平方根に設定することが求められる。

4.4 平衡変調器

図3では、数式(1)の信号を平衡変調器33に入力し、平衡変調器33が振幅変調した搬送波を出力する[19], [20]。こ

の搬送波は数式(2)で示される。

$$\{a(t)As(f)+A\}^{1/2} \sin(\omega_c t) \quad (2)$$

$\sin(\omega_c t)$ が搬送波を意味し、 ω_c が搬送波の周波数を意味し、小文字 t が時間を意味する。搬送波の周波数は具体的には 200MHz から 10GHz である[11]-[13]。

振幅変調には搬送波両側波帯、抑圧搬送波両側波帯、抑圧搬送波単側波帯の3つの方式がある。米国特許には、抑圧搬送波両側波帯及び抑圧搬送波単側波帯が記載されている一方、搬送波両側波帯は記載されていない。搬送波を抑圧することにより、頭部に照射される電磁波エネルギーが小さくなり、健康に与える影響が小さくなる。

4.5 人工テレパシー

文献[19], [20]の何れにもパルス変調が明記されていないが、マイクロ波聴覚刺激が発現するために、振幅変調の次の段階でパルス変調することが求められる。

図3に示すように、指向性アンテナからマイクロ波ビームを受信者の頭部34に発射する。受信者の頭部34が受信機として機能し、頭部がマイクロ波を音波 $a(t)$ に変換する。この音波 $a(t)$ が内耳35に伝搬する。内耳35から聴神経を経由して聴覚中枢36にインパルスが伝わり、音声を認識する。

また、パルス変調されたマイクロ波を頭部に照射するとき、更に乱数を使ったスペクトラム拡散を組み合わせると、マイクロ波パルスを頭部に照射しているのにもかかわらず、マイクロ波がノイズに埋もれて検出することができなくなる[23]。スペクトラム拡散は1940年代に開発された軍事通信であり、1980年代まで機密に指定されていた。

4.6 軍事通信の機密解除

人工テレパシーの特許権者が米国空軍ということは軍事通信が機密解除されたことを意味する。軍事通信は完成と同時に公表するという性質のものではなく、永年に渡って秘匿される傾向にある。

更に、米国特許法は永年に渡って先発明主義を採用するとともに最先の発明者を特定する抵触審査手続きを規定していた。すると、先発明主義のもとでは、特許出願を急ぐ必然性は乏しく、かなり以前に発明が完成していた可能性が否定できない。

また、軍事通信が機密解除されたということは、今後、民生利用が認められると理解することができる。余談になるのだが、インターネットの原型は米国陸軍の ARPANET という軍事通信であり、同様に、GPS は米国空軍が運用する軍事衛星を応用する軍事通信である。ARPANET も GPS も軍事通信が公表され、一般利用が認められるようになったので、世界中で爆発的に普及したのである。マイクロ波聴覚刺激を応用した無線通信、即ち、人工テレパシーも同様に今後、世界中に爆発的に普及する可能性を秘めている。

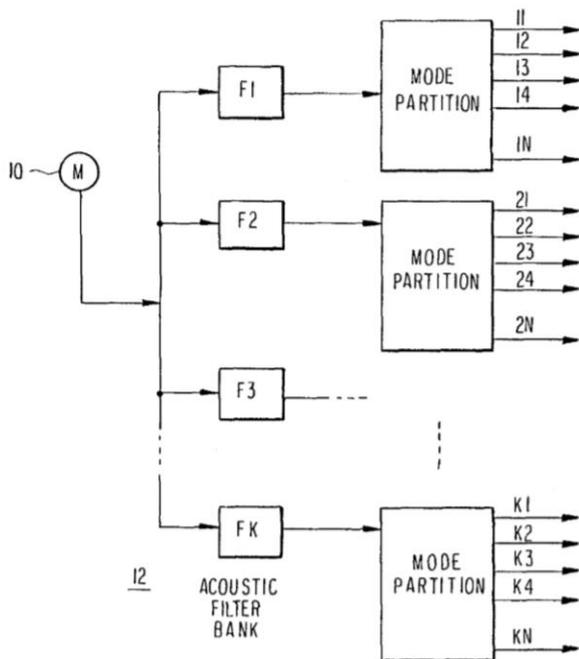


図 4 マイクロ波聴覚刺激を応用した無線通信の概略
 文献[21]の図 1 を改変して引用

Figure 4 General scheme of wireless communication with microwave auditory effect. Fig. 1 in reference [21] is cited with modification.

フィルター 番号	中央	帯域幅
	周波数 Hz	Hz
1	50	50未満
2	150	100
3	250	100
4	350	100
5	450	110
6	570	120
7	700	140
8	840	150
9	1000	160
10	1170	190
11	1370	210
12	1600	240
13	1850	280
14	2150	320
15	2500	380
16	2900	450
17	3400	550
18	4000	700
19	4800	900
20	5800	1100
21	7000	1300
22	8500	1800
23	10500	2500
24	13500	3500

表 1 フィルターバンクの音響特性を示す。

Table 1 Acoustic characteristics of filter bank.

5. フィルターバンク

5.1 緒言

マイクロ波聴覚刺激を応用した通信に用いられるフィルターバンクは、1989年に米国特許 4858612号として公表されている[21]。このフィルターバンクは音声信号を多数の周波数成分に分離し、周波数成分の信号強度に応じてマイクロ波パルスが頭部に照射され、マイクロ波聴覚刺激により音声信号を頭部に直接、伝える。

図 4 に音声分析の概略を示し、図 5 に音声合成の概略を示す。更に、表 1 に音声分析に用いられるフィルターバンクの特性を示す。

5.2 音声分析

図 4 では、マイク 10 が音声信号を電気信号に変換し、この電気信号がフィルターバンク 12 に入力される。フィルターバンクはバンドパスフィルター F₁ からバンドパスフィルター F_k で構成されており、フィルターバンク 12 全体で音声の周波数範囲をカバーする。

表 1 はフィルターバンクの音響特性を示す。フィルターバンク 24 は、中心周波数が 13500Hz であり、帯域幅が 3500Hz なので、フィルターは周波数 15000Hz まで対応し

ている。周知のように、周波数 15000Hz は、人間の可聴域のほぼ上限に対応する。

人間が音声を認識するときには、4000Hz 前後までの周波数で十分に認識できるとされており、2010 年頃までの日本の固定電話は、周波数 4000Hz までの音声信号を伝える一方、4000Hz 以上はフィルターでカットしていた。最近では、周波数 8000Hz 前後までの音声を伝えている。

このような電話による音声通信と比較すると、15000Hz までの周波数に対応するフィルターバンクはかなり高度な仕様ということになる。

ところで、本稿で紹介しているフィルターバンクは米国特許に記載されているのだが[21]、米国特許明細書は米国特許法に規定する記載要件を満たすように記載されている。ちなみに米国特許法 112 条第 2 段落は、最良実施態様、即ち、ベストモードを明細書に記載することを要件に規定している。すると、フィルターバンクが人間の可聴域上限まで対応しているのは、米国特許法第 112 条のベストモード

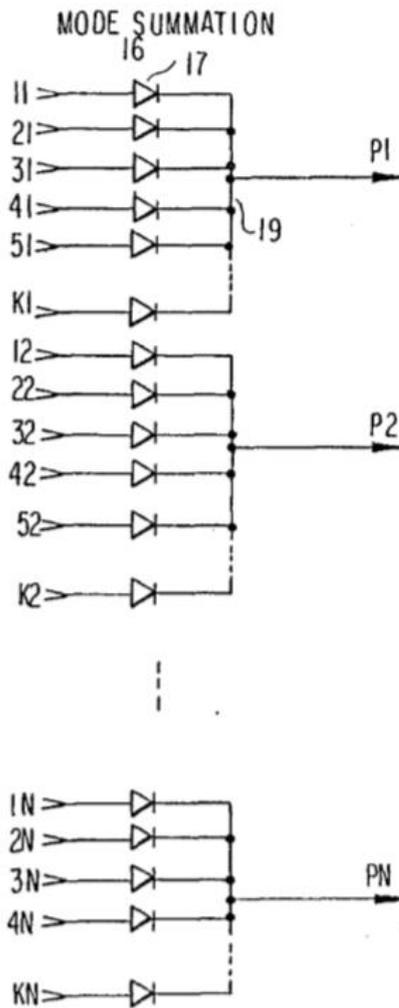


図 5 マイクロ波聴覚刺激を応用した無線通信，即ち，人工テレパシーの概略。
 文献[21]の図 1 を改変して引用

Figure 5 General scheme of wireless communication with microwave auditory effect, i.e. artificial telepathy. Fig. 1 in reference [21] is cited with modification.

の解釈を反映しているものと理解することができる。フィルターバンクを実装するときには、周波数 4000Hz 以上とか周波数 8000Hz 以上に対応するフィルターは省略することが可能である。

フィルターバンク 12 を構成する個々のフィルターは更に区分器に接続している。例えば、フィルター F_1 は区分器 1 に接続して、音声信号が 11 から 1N まで N 通りに区分される。同様にフィルター F_K は区分器 K に接続して、音声信号が K1 から KN まで N 通りに区分される。これらの区分器は、音声合成及びマイクロ波の増幅のために必要なのである。ちなみに、マイクロ波の発振器の数が N 個であり、区分器の数は発振器の数と一致している。

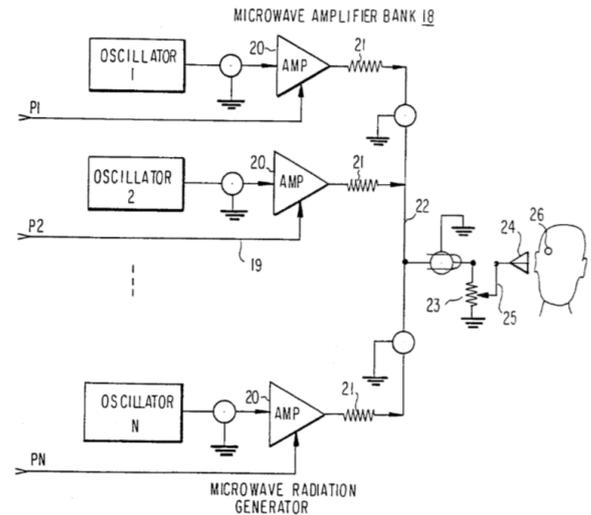


図 6 マイクロ波聴覚刺激を応用した無線通信の概略
 文献[21]の図 2 を改変して引用

Figure 6 General scheme of wireless communication with microwave auditory effect. Fig. 1 in reference [21] is cited with modification.

5.3 音声合成

図 5 に示すように、これらの N 個の区分器が N 個の合成器 16 に接続する。個々の合成器 16 の内部にダイオード 17 が配置されている。合成器 16 の内部で信号が逆流するのを防止するためである。

5.4 マイクロ波の増幅

図 6 に示すように、N 個のマイクロ波発振器が N 個の増幅器 20 に接続している。N 個の合成器 16 からの出力が、それぞれ N 個の増幅器 20 のゲインを制御する。

本件米国特許に開示するマイクロ波聴覚刺激を応用した無線通信では、搬送波となるマイクロ波が一個でなく、N 個であり、搬送波によりゲインが異なるのである。これに伴って、音声周波数成分の各々の音響エネルギーに対応して、搬送波が頭部に電磁波エネルギーを伝えることができる。

5.5 小括

米国空軍が 2 件の米国特許を公表したのが 2002 年及び 2003 年であるから[19], [20], フィルターバンクの公表は 10 年以上も早いということになる[21]。すると、マイクロ波聴覚刺激を応用した無線通信については、かなり以前に発明が完成していた可能性がつかまとう。

また、音声分析及び音声合成がペアになっているアーキテクチャーは、vocoder と同様である[24]。1930 年代にベル研究所がチャンネル・ボコーダーを公表しているが、vocoder は、送信サイドで音声进行分析した後、特徴量を送信し、受信サイドで音声合成する。音声の分析及び音声の合成が

vocoderの特徴なのであるが、米国特許4858612号もvocoderと同様に音声の分析及び音声の合成が行われている[21]。また、vocoderはスペクトラム拡散と組み合わせて第二次世界大戦中から米軍の軍事通信に応用されている[25]。従って、米国特許4858612号で開示された発明は、vocoderと同時代に発明され、その後、軍事機密に指定されていた可能性がある。

6. サイバネティクスと精神医学

6.1 サイバネティクス

サイバネティクスは、通信工学、制御工学、計算機工学を統合する学際領域であり、更に機械と生物を同等に扱うという特徴がある[26]。サイバネティクスは第二次世界大戦中に高射砲とレーダーを統合する兵器の開発という軍事研究から生まれたものであり、ノーバート・ウィーナーが1948年に「サイバネティクス」という書籍を刊行したことにより創設されている。

サイバネティクスは通信、制御、信号処理、生物などの様々な要素に還元されるが、通信という要素については、ベル研究所が開発したvocoderに言及している[26]。また、サイバネティクスの生物という要素については、神経系(第5章)、精神病理(第7章)、脳波(第10章)に言及している[26]。

ところで、サイバネティクスは軍事研究と密接に関連するのだが、軍事機密に抵触する部分は当然のことながら公表できるものではない。例えば、射撃制御レーダーの標的として人間を選定するとともに、射撃制御レーダーからマイクロ波パルスを実験的に人間の頭部に継続的に照射して、音声を伝えるというようなことは公表できるものではない。

一方、マイクロ波聴覚刺激は第二次世界大戦中に軍事レーダーで観察されていたが永年に渡って秘密にされていた[11]-[21]。同様に、マイクロ波聴覚刺激を応用した無線通信はvocoderと近似するアーキテクチャーをしているが、秘密にされていた[19]-[21]。すると、サイバネティクスにマイクロ波聴覚刺激など1940年代の軍事機密を補って再構成することは正当な試みと評価することができる。

さて、マイクロ波聴覚刺激を応用した無線通信が第三者に使われたときには、誰かの声が聞こえるとか、神の音が聞こえるとか、壁の向こう側から音が聞こえるというような症状を誘発することができ、このような症状は精神病理そのものであり、書籍「サイバネティクス」は精神病理について言及しているのである[26]。

サイバネティクスには秘匿されている兵器という側面があり、通信工学に属するオートマトンが言葉を通じて、精神病理を誘発している可能性が付きまとう。

6.2 精神医学

どの時代であっても、どのような国家、社会であっても、

世の中には、一定の割合で国家、社会にとって望ましくない人達が存在する。中世ヨーロッパでは、このような人たちに魔女と烙印を押し、火あぶりにしていた[27]-[29]。

19世紀後半になって、ジークムント・フロイトが無意識を発見し、夢に基づいて精神疾患を診断するという荒唐無稽な理論を提唱し、国家、社会にとって望ましくない人達を精神病院に幽閉する医学的基盤を構築した[30]。なお、現代日本ではフロイトは心理学者に分類されることが多いが、医師であったことは確かである。

20世紀前半になって、簡易に高出力マイクロ波を発振するマグネトロンが発明されるとともに、マグネトロンを内蔵したレーダーが発明されるようになると、火あぶりの代わりに、自動追尾レーダーからマイクロ波ビームを人体に照射して加熱することにより、国家、社会に望ましくない人達を精神病院に幽閉する医学的基盤を確固たるものにした可能性は否定できない。マイクロ波聴覚刺激の原理に鑑みて、マイクロ波パルスを実験的に照射して、音声を聞かせる行為はマイクロ波加熱そのものである。そして、このような電波兵器について、機密に抵触する部分を秘匿しつつ公表したのが、書籍「サイバネティクス」と解される。

7. おわりに

本稿は音声対話システムの入力インタフェースにマイクロ波聴覚刺激を応用する無線通信を活用することを述べるとともに、このような音声対話システムがサイバネティクスと近似する旨を指摘した。

今後の課題は音声対話システムの入力インタフェースである。入力インタフェース及び出力インタフェースを統合して、将来的には下記のような音声対話システム・アーキテクチャーを提案する。

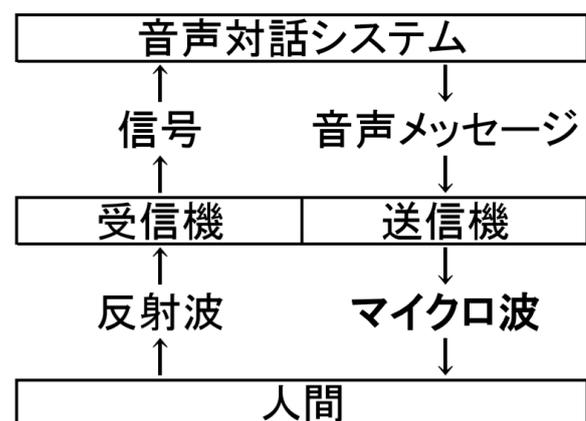


図7 音声対話システムのブレイン・マシン・インタフェース・アーキテクチャーの概略

Figure 7 General scheme of spoken dialogue system with brain-machine interface.

参考文献

- 年 3 月 30 日 pp. 126-138.
- [23] Marvin K. Simon, Robert A. Scholtz, Jim K. Ohmura, Barry K. Levitt, Spread-spectrum communications handbook, McGraw-Hill, Inc., revised ed. 1994.
- [24] Lawrence R. Rabiner, Ronald W. Schafer, Digital Processing of Speech Signals, Prentice-Hall, New Jersey, 1978.
- [25] David Kahn, Cryptology and the origins of spread spectrum: Engineers during World War II developed an unbreakable scrambler to guarantee secure communications between Allied leaders, *IEEE spectrum*, vol. 21, no. 9, pp. 70-80, 1984.
- [26] ノーバート・ウィーナー, 池原止戈夫, 彌永昌吉, 室賀三郎, 戸田巖訳, "サイバネティックス: 動物と機械における制御と通信," 第2版, 岩波文庫, 岩波書店, 1962.
- [27] ミシェル・フーコー, 田村叔訳, "狂気の歴史" 新潮社 1975.
- [28] ロイ・ポーター, 田中佑介, 鈴木瑞実, 内藤あかね訳, "狂気", 岩波書店, 2006年11月28日.
- [29] Szasz, Thomas, The myth of mental illness. *American Psychologist*, Feb. 1960, vol 15, no. 2, pp. 113-118.
- [30] ジークムント・フロイト, 高橋義孝訳, "夢判断", 新潮文庫, 1969年 改版, 2005年.
- [1] 中野幹生, 駒谷和範, 船越孝太郎, 中野有紀子, 奥村学 (監修), 対話システム (自然言語処理シリーズ7), コロナ社, 2015年.
- [2] 白井克彦編著, 音声言語処理の潮流, コロナ社, 2010年3月30日.
- [3] 河原達也, 荒木雅弘, 音声対話システム, オーム社, 2006年10月15日.
- [4] 石崎雅人, 伝康晴, 談話と対話 言語と計算3, 東京大学出版会 2001年3月.
- [5] 橋田浩一, 大津由紀雄, 田窪行則, 杉下守弘, 言語 岩波講座 認知科学7, 岩波書店, 1995年3月28日.
- [6] Julia Hirschberg and Christopher D. Manning, Advances in natural language processing, *Science*, vol. 349, no. 6245, pp. 261-266, 17 July 2015.
- [7] D. Jurafsky and J. H. Martin, Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition, (2nd Ed.) Prentice-Hall, New Jersey, 2006.
- [8] M. F. McTear, Spoken Dialogue Technology: Towards the Conversational User Interface, Springer, 2004.
- [9] K. Jokinen and M. McTear, Spoken Dialogue Systems, Synthesis Lectures on Human Language Technologies, Morgan and Claypool Publishers, 2009.
- [10] M. M. Taylor, F. NEEL and D. G. Bouwhuis, eds., The Structure of Multimodal Dialogue, Human Factors in Information Technology 4, Elsevier Science Publishers H. V., North-Holland, 1989.
- [11] 小池誠, "マイクロ波聴覚刺激の概説—電波が聞こえるというパラダイムに転換—" 情報処理学会研究報告 vol.2016-MUS-111, no.35, pp.1-7, May 2016.
- [12] Stankiewicz, W., Krawczyk, A., and Kieliszek, J.: Microwave-Induced Hearing – its Mechanism and Consequences, *Acta Tech. Jaurinensis* Vol. 6. No. 1, pp. 127-129, (2013).
- [13] Elder, J.A. and Chou, C.K., Auditory response to pulsed radiofrequency energy, *Bioelectromagnetics*, 2003, vol. 24, pp. S162–S173.
- [14] Chung-Kwang Chou, Arthur W. Guy, Robert Galambos, Auditory perception of radio-frequency electromagnetic fields, *Journal of Acoustic Society of America*, June 1982, vol. 71, no. 6, pp. 1321-1334.
- [15] Kenneth R. Foster, Edward D. Finch, Microwave Hearing: Evidence for Thermoacoustic Auditory Stimulation by Pulsed Microwave, *Science*, 19 July, 1974, Vol. 185, No. 4147, pp. 256-258.
- [16] Olsen, Richard G; Lin, J.C., Microwave-Induced Pressure Waves in Mammalian Brains, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol.BME-30, no.5, pp.289~294, May 1983
- [17] Chou C, Galambos R, Guy AW, Lovely RH., Cochlear microphonics generated by microwave pulses, *The Journal of Microwave Power*, 1975, Vol.10, no. 4 , 361-367.
- [18] Eugene M. Taylor, Bonnie T. Ashleman, Analysis of Central Nervous Involvement in the Microwave Auditory Effect, *Brain Research*, 1974, Vol. 74, pp. 201-208.
- [19] James P. O'Loughlin, Diana L, Loree, Method and device for implementing the radio frequency hearing effect, US Patent No. 6470214, Oct. 22, 2002.
- [20] James P. O'Loughlin, Diana L, Loree, Apparatus for audibly communicating speech using the radio frequency hearing effect, US Patent No. 6587729, Jul. 1, 2003.
- [21] Philip L. Stocklin, Hearing Device, US Patent No. 4858612, Aug 22, 1989.
- [22] 辻俊彦, レーダーの歴史 英独暗夜の死闘, 芸立出版 2012