

圧力センサアレイを用いた胎動スキャナの提案

小坂崇之^{†1} 青木真希子^{†2}

胎動は、妊婦自身が定期健診以外で、胎児の健康状態を自覚できる有効な手法の一つとされている。自覚する胎動は妊婦の主観によるものがほとんどのため、経験の乏しい初産婦には胎動を自覚できるまで時間がかかるのが現状である。そこで胎動の計測を妊婦自身による観察ではなく客観的に計測する必要性が求められている。また、これまで、胎動の有無のみに注視する傾向がある一方で、腹部のどの場所で胎動を感じたかは議論されてこなかった。しかし、胎動の有無だけでなく、胎動の出現する場所に対してのデータも収集することで、早期に胎児異常を発見し治療を行うことの知見を導き出せる材料となる可能性はある。本研究では、圧力センサを腹部に複数配置することで、胎動の場所と強さを客観的に計測する胎動スキャナを提案し、実際に胎動を計測できるのか実験をおこなった。

Proposal of Fetal Movement Scanner using pressure sensor array

TAKAYUKI KOSAKA^{†1} MAKIKO AOKI^{†2}

Monitoring fetal movement is an effective method that allows the pregnant woman herself to determine the state of health of the fetus outside in periods between prenatal checkups. As awareness of fetal movement depends on the subjective judgment of the pregnant woman, it can take time for primipara women, who are experiencing pregnancy for the first time, to be able to discern fetal movement. Therefore, rather than having pregnant women monitor fetal movement, a method of measuring and observing fetal movement objectively is required. While monitoring has tended to focus simply on the presence or absence of fetal movement, the actual site of fetal movement in the abdomen has not been investigated. Measuring not only the presence or absence of fetal movement but also data on the site of fetal movement can provide findings for the early detection and treatment of fetal abnormalities. In this study, we showed a fetal movement scanner that can objectively measure the site and intensity of fetal movement by having multiple pressure sensors placed throughout the abdominal region. We then conducted an experiment to determine whether it could actually measure fetal movement.

1. はじめに

妊娠・出産は、人間が存続する上で欠かせない行為である。われわれは誰しも母親の胎内で命を授かる。精子と卵子が結びつき、生命のもとである受精卵になり成長を続ける時期になると胎動を感じ出産を迎える[1]。胎動とは『母胎内で胎児が動くこと。また、その動き。』と表現されている。胎動の自覚には個人差があり、早い人で妊娠 16 週ごろから、多くは妊娠 20 週間後、遅くとも妊娠 22 週間までには初めての胎動を感じる。そして妊娠 30 週後半より胎動は減少し、分娩が近づき胎児の頭が骨盤内に侵入すると、さらに胎動が減少するとされている[2][3]。胎動を感じる時期については個人差が大きく、また、経験の乏しい初産婦よりも経産婦のほうがより早期に胎動を感じるといわれている[4]。大寺ら[5]は、胎動は、胎児の健全性を評価するために有効な方法であると述べている。

胎動は胎児の健康状態を妊婦自身が自覚できる有効な手法の一つとされており、容易に行える方法として胎動カウント法がある[6]。毎日、10 回の胎動を自覚するのに要した時間を計測し、指定のチャートに記入し成長週数ごとの胎動の回数をチェックする手法である。胎動の感じ方、回数は個人差が大きいとされ、他人と比較するのではなく、い

つもと同じかどうかを常に留意することが重要であるとされている[2]。一般的には異常のないことが多いが、胎動が減少したと感じた場合、病院で受診したほうが良いとされる。妊娠検診で異常なしと診断を受け、2 日前から胎動が減少したが「妊娠検診で大丈夫と言われた」からと受診せず、翌週の受診時には胎児が死亡していたという症例[2]や、胎動カウント法により早期の受診で胎児の救命に結びついた症例[7][8]も報告されている。しかし、胎動カウント法が胎児の死亡率を減少させる手法として有効かについては明らかになっていない。胎動カウント法と病院の的確なバックアップ体制によって胎児の死亡率が 0.81% から 0.21% へ減少したという報告[9]もあるが、Grant ら[10]の調査では有意な差はでなかったとの報告もある。桑田ら[11]は、胎動減少は胎児の死亡を予知する可能性が高いが、胎動カウントが死亡率低下に有用か否かは未解決である。しかし、胎動カウントは運動異常胎児の出生前診断に有用かもしれないと述べている。また Mangesi [12]は、胎動カウント法を全妊婦に行うことの有効性に関して十分な根拠がないが、間接的には有効とする根拠もあるので、今後の研究が期待されると述べている。

このように胎動カウント法が、胎児の死亡減少率低下に有効かは明らかになっていないが、定期健診以外で、妊婦

†1 神奈川工科大学 情報学部 情報メディア学科
Department of Information Media, Kanagawa Institute of Technology
†2 神奈川工科大学 看護学部 看護学科
Department of Nursing, Kanagawa Institute of Technology

自身が胎児の健康状態を自覚する上で、胎動カウント法は有効な手法ともいえる。しかしながら、胎動を毎日カウントしチャートに記入するのは、煩雑であり手間がかかる。また、自覚する胎動は、妊婦の主観によるものが多く、初めて胎動を感じる初産婦には胎動を自覚できるまで時間がかかるのが現状である。胎動を妊婦の主観ではなく客観的に計測する必要性が求められるのではないだろうか。また、これまでの胎動カウント法は、胎動の有無のみであり、腹部のどの場所で胎動を感じたかは重要な課題として取り上げられてこなかった。

われわれは妊婦に対して、腹部のどの場所で胎動を自覚したかのアンケート調査を行ってきている (N=278)。その結果、個人差はあったが妊娠 18 週では、胎動は下腹部に集中していたが、妊娠 36~40 週では、上腹部に集中する傾向が見られた。36~40 週の臨月週には胎児の頭が骨盤内に侵入し、胎児が頭部を下にするため、蹴りなどの胎動は上腹部に集中したためだと推測される。このように、胎動の出現場所は、妊娠週により変化する傾向が見られた。つまり、胎動の有無の情報に加え、これまで議題として取り上げられてこなかった胎動の場所も計測することで、早期に胎児異常を発見し治療を行うことの知見を導き出せる材料となる可能性はある。

そこで本研究では、圧力センサを腹部に複数配置することで、胎動の場所と強さを客観的に計測する胎動スキャナの提案をおこなった。胎動スキャナを用いて実際に胎動を計測できるのか実験をおこなった。

2. 関連研究

胎児の健康状態を評価する手法として、腹部に超音波プローブを当て、胎児の状態を映像で観察することができる超音波診断が普及している[13][14]。近年では 3D や 4D 超音波診断も開発され胎児の様子を 3D や動きのある映像で観察することが可能である[15]。しかし、これらは医療機器であり、医療機関以外の場所で、胎動の有無を客観的に計測することはできない。家庭で客観的かつ簡単に、長期にわたって胎動を計測する方法として FMAM recorder [16][17]が挙げられる。これは、妊婦が睡眠中であっても胎動を計測できる胎動計である。胎動によって生じた母体腹壁の振動を静電容量型加速度センサでとらえた胎児の動きを振動として胎動の有無を記録している。

われわれは 2010 年から妊婦体験システム MommyTummy を開発している[18][19][20]。MommyTummy は、単に重さだけを体験できる妊婦体験ジャケットではなく成長過程に応じての重さや温かさ、胸の膨らみ、そして胎動も再現できるシステムである。MommyTummy では、腹部に 42 個のバルーンを内蔵し、エアコンプレッサと電磁弁によってバ

ルーンを時間差で膨らませることにより胎動を疑似的に再現している。しかし、ここで再現している胎動は、我々が妊婦に対してアンケート調査をおこなった結果に基づいて作成した架空の胎動であり、実際の妊婦の胎動を計測して再現しているわけではない。より現実感を高めるためには、実際の胎動を計測し再現する必要がある。

そこで、われわれは、MommyTummy で再現するための前段階として、胎動の計測を行う胎動スキャナを提案した。また、オムツメーカーの Huggies は、同様に胎動を計測し再現できる Hug Belt[21]を 2013 年に動画を公開している。しかし、どのように胎動の計測と再現をおこなっているのか、技術資料や論文もなくコンセプトムービーの可能性が高いのが現状である。

3. 提案手法

胎動は、妊婦自身が胎児の健康状態を自覚できる有効な手法の一つとされているが、自覚する胎動は、妊婦の主観や経験によるものが多く、客観的に計測する必要性が求められている。また、胎動カウント法に代表されるように、これまでは胎動の有無のみであり、胎動の出現場所に対しては取り上げられてこなかった。そこで本研究では、圧力センサを腹部に複数配置することで、胎動の場所と強さを客観的に計測する胎動スキャナを提案した。

3.1 胎動スキャナ

胎動の有無に加え腹部の胎動の場所を客観的に計測するためのセンサである (図 1)。妊婦帯に圧力センサを複数配置することで、妊婦の腹部皮膚表面に現れる胎動を計測できる。

妊婦帯には株式会社ロースマダムのワンタッチ妊婦帯幅広タイプを用いた。圧力センサには Interlink Electronics 社製 FSR406 を用いた。大きさは 43.7 x 43.7mm、感圧領域は 40 x 40mm である。妊婦帯に上下左右隣り合う距離が等しくなるように約 6cm 間隔で FSR406 を 11 個配置した (図 2)。得られた圧力センサ群のデータは、Arduino を用いて 25Hz で計測をおこなった。32GB の SD カードに 222 日間記録することができる。

我々は、装着者の微動な身動きなどでも圧力センサが反応するのを予備実験において確認している。そこで予期せぬ体験者の身動きを計測するために 3 軸の加速度センサも配置した。

計測した胎動データを腹部 3D モデルにマッピングし、胎動の動きも視覚化できる (図 3)。記録したデータだけでなくリアルタイムに表示することも可能である。また、例えば、1 日分の胎動を 1 分で再生するなど、計測した胎動を指定した時間で再生することもできる。

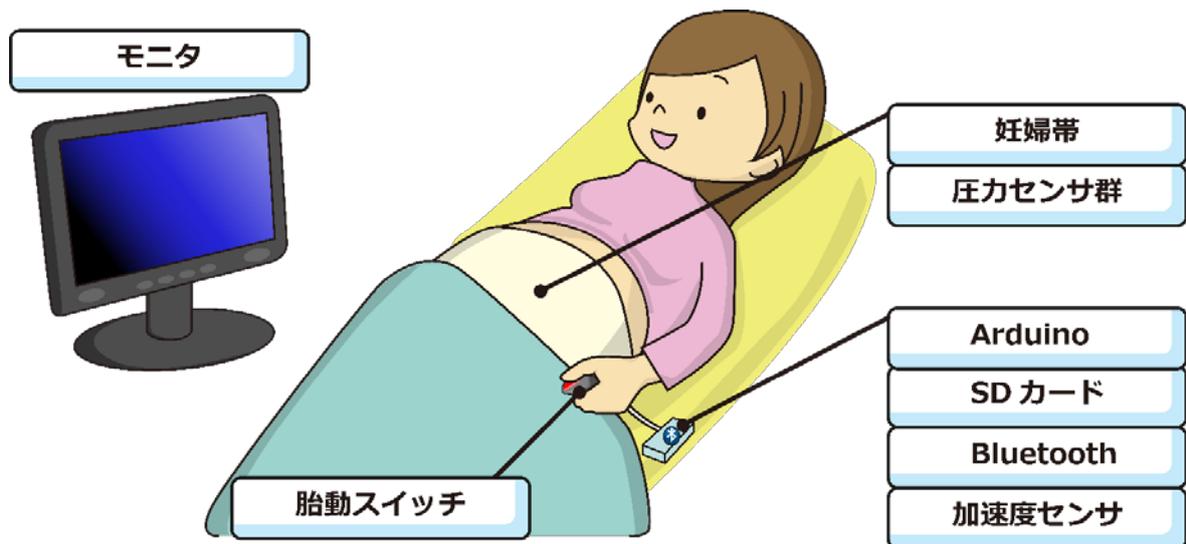


図 1:胎動スキャナ システム構成

Figure 1 System of the fetal movement scanner



図 2:胎動スキャナ センサ配置図

Figure 2 Distribution of the sensor

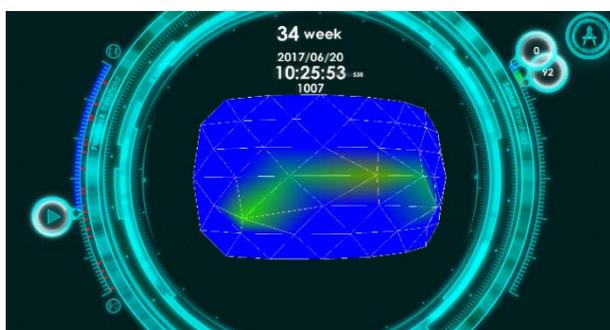


図 3: 胎動マッピング

Figure 3 Fetal movement 3D mapping

4. 実験

胎動スキャナを用いて実際に皮膚表面上に現れる胎動の計測が可能かどうか実験をおこなった。

被験者は妊娠中の4名に対しておこなった。被験者には、本研究の目的、実験方法、実験に参加しなくても不利益を受けないこと、一端実験が開始しても途中の中断も含めて自由意志であること、個人を特定した形での検討を行わず、プライバシーは確保されることを口頭と文面で説明し同意を得た。実験には、助産師が常に立ち合い被験者に異常が見られた場合には実験を中止することにした。本研究は、神奈川工科大学のヒトを対象とした研究にかかわる倫理審査を受けた。

実験時は、椅子に座るように指示した。座位の姿勢については、特に指示はおこなわなかった。腹部に圧力センサが配置されていることを伝え、腹部には触らないように指示した。また実験中は、緊急時を除き、会話や身動きなどは控えてもらうように指示した。被験者は胎動スキャナを腹部に装着し、左右どちらかの手に押しボタンスイッチを握ってもらった。胎動を自覚したとき、押しボタンスイッチを押すように指示した。スイッチの情報と圧力センサの情報を分析することで、胎動スキャナを用いて胎動が計測できたかを判断することが可能である。

胎児はREM、non-REMの睡眠周期を繰り返している。妊娠7か月では40～50分の胎動が減少するnon-REM期、胎動の激しい20～30分のREM期のサイクルを繰り返し、妊娠9か月では約20分のnon-REM期、20分のREM期というサイクルを繰り返している。胎動が10回カウントできるまでの時間を計測する胎動カウント法では、早い人であれば15～20分、平均で30分程度である[3][4]ことから、本実験において実験時間を40分に設定した。

5. 結果と考察

胎動スキャナを用いて実験で計測された特徴的な 20 秒間のデータを示す. 11 個の圧力センサ平均を図 4 に, 特徴の見られた圧力センサ 5、6、7 のデータを図 5、図 6、図 7 示す. また同時刻の加速度センサ値を図 8 に示す. 被験者が胎動を自覚し, 押しボタンスイッチを押した時間帯を図 4 から図 7 の①スイッチと示す.

圧力センサで得られた値は, どれも周期的な動きを繰り返しており, その周期は約 3 秒であった. 宮本ら[22]の調査によると, 妊婦の 1 分間の呼吸数は 19.9 回であったと述べている. 1 呼吸あたり 3.01 秒となり, この周期的な動きは呼吸による呼気と吸気の影響であると言える (図 4).

圧力センサ 5 と圧力センサ 6 において, 胎動スイッチが押された直前のセンサ値が, 呼吸周期と比べると乱れている箇所が確認できた (図 5-②, 図 6-②). 呼吸の周期的な動きと反して値が変化しており, これは皮膚表面に現れる胎動を計測したものだと考えられる. 実験中の被験者の身動ぎによる影響かと考えられた. しかし, 圧力センサ 7 と加速度センサの値 (図 8) には大きな変化は見られなかったため, これは胎動を計測したものであると言える. また, 図 5-②, 図 6-②の同時刻の胎動データを 3D モデルにマッピングして視覚化した胎動マップを図 9 に示す.

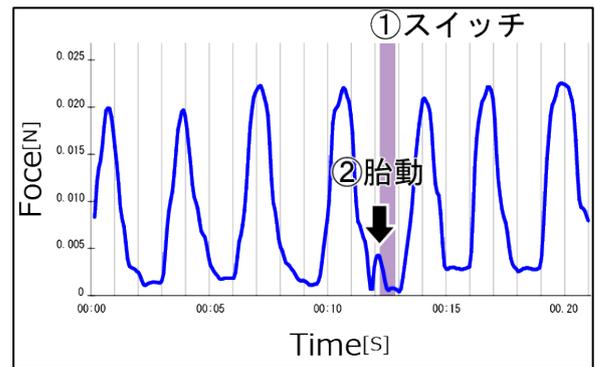


図 6: 胎動スキャナの圧力値センサ 6
Figure 6 Fetal Movement Scanner.

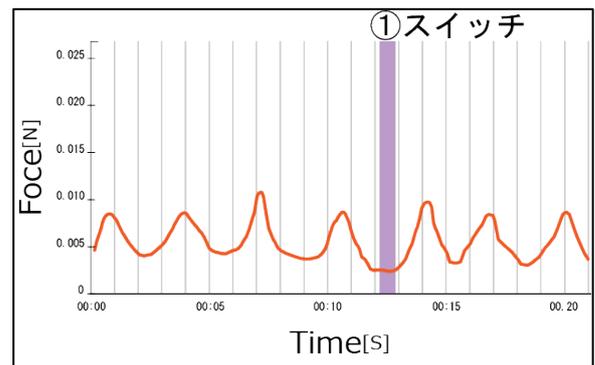


図 7: 胎動スキャナの圧力値 センサ 7
Figure 7 Fetal Movement Scanner.

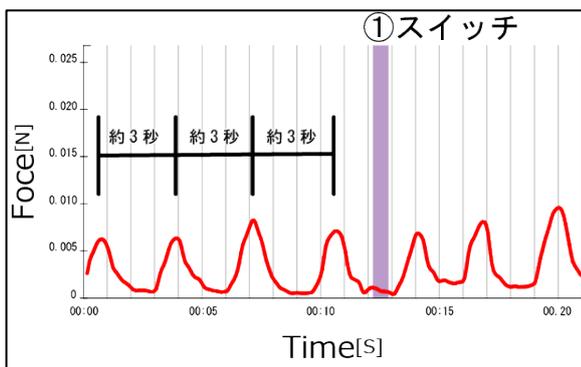


図 4: 胎動スキャナの圧力値 平均値
Figure 4 Force value of the scanner (average value)

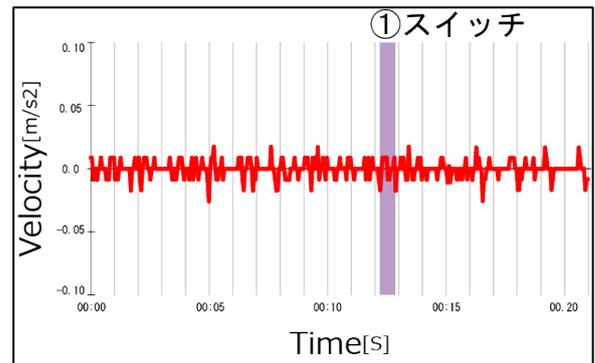


図 8: 胎動スキャナ 加速度センサ値
Figure 8 Velocity value of the scanner

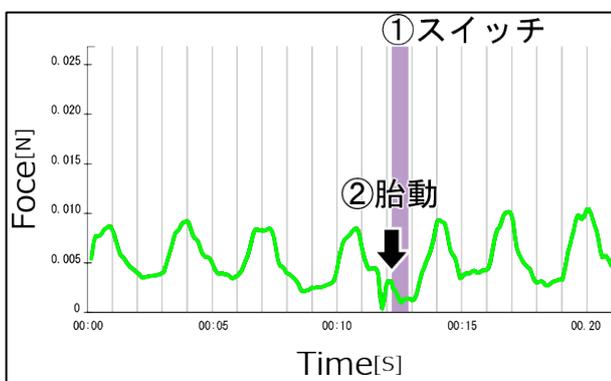


図 5: 胎動スキャナの圧力値 センサ 5
Figure 5 Force value of the scanner (No.5)Fetal Movement Scanner.

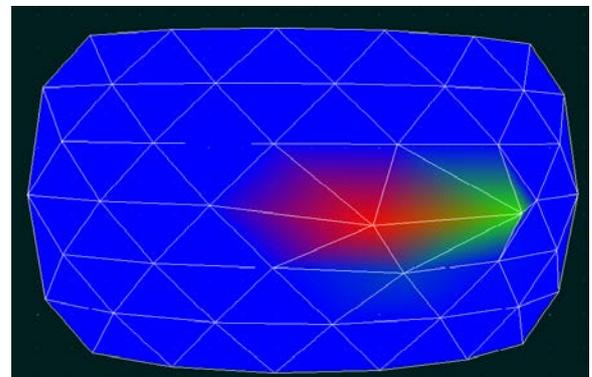


図 9: 視覚化した胎動データ
Figure 9 Visualized data of fetal movement

6. おわりに

今回、圧力センサを腹部に複数配置することで、胎動の場所と強さを客観的に計測する胎動スキャナを提案した。胎動スキャナを用いて実際に胎動を計測できるのか実験をおこなった。結果、胎動と思われる圧力の変化を確認することができた。

現在、実験に得られたすべてのデータを解析したわけではないが、提案する胎動スキャナを用いることで、皮膚表面に発生する胎動を客観的に計測できることが示唆された。しかし、胎動スキャナで得られた圧力データには呼吸による影響が含まれており、それらを除去し胎動データのみを計測する手法が求められる。また、現在は11個の圧力センサを配置しているが、すべての胎動を計測できているか疑問が残る。今後はセンサの数を増やすなどして開発を続けていく予定である。

参考文献

- 1) 森恵美: 母性看護学各論-母性看護学 (2), 医学書院 (2016) .
- 2) 正岡直樹,和田 真沙美: お腹が小さい,胎動減少,ペリネイタルケア, Vol.31, No.1, pp.46-51 (2012) .
- 3) 間崎和男,平川舜: 胎動が激しいがへその緒が巻いてしまわないでしょうか, 周産期医学, Vol.28, pp.186-188 (1998) .
- 4) 鈴木武徳, 久慈直志: 妊娠から出産まで, 有紀書房 (1995) .
- 5) 大寺由香, 諸隈誠一, 福嶋恒太郎, 和氣茂樹: 胎児のサインにまつわる最新のトピックス 胎動再考 何が分かる?どうとらえる? (第2回) 胎動と胎動行動,ペリネイタルケア, Vol.29, No.8, pp.60-64 (2010) .
- 6) Tomoyuki Kuwata, Shigeki Matsubara, Takashi Ohkusa, Akihito Ohkuchi I, Akio Izumi, Takashi Watanabe, Mitsuki Suzuki: Establishing a reference value for the frequency of fetal movements using modified 'count to 10' method, J. Obstet. Gynaecol. Res, Vol.34, No. 3, pp.318-323 (2008) .
- 7) 竹村秀雄, 松村茂樹: 胎児のサインにまつわる最新のトピックス 胎動再考 何が分かる?どうとらえる? (第7回) 当院での胎動カウントの試み, ペリネイタルケア, Vol.30, No.1, pp.86-92 (2011) .
- 8) 金子由佳, 桑田知之, 泉章夫, 薄井里英, 大口昭英: 自覚胎動カウントの実施により児を救命できた一症例:胎動カウントの基準値とともに, 母性衛生学会論文誌, Vol.49, No3, pp136 (2008) .
- 9) Moore TR, Piacquadro K: A prospective evaluation of fetal movement screening to reduce the incidence of antepartum fetal death, Am J Obstet Gynecol, Vol.160, pp.1075-80 (1989) .
- 10) Grant E, Elbourne D, Valentin L, et al: Routine formal fetal movement counting and risk of antepartum late death in normally formed singletons, Lancet, Vol2, pp.345-349 (1989) .
- 11) 桑田知之, 松原茂樹, 大草尚, 泉章夫, 小林真実, 鈴木光明: 自覚胎動カウントは胎児運動障害性疾患の出生前早期発見に有用である, 第62回日本産科婦人科学会学術講演会, pp.659 (2010) .
- 12) Mangesi L, Hofmeyr GJ, Smith V: Fetal movement counting for assessment of fetal wellbeing, Cochrane Database of Systematic Reviews (1), (2007) .
- 13) 竹村秀雄: 胎児超音波診断, 産婦人科治療, Vol.86, No.2, pp.157-161 (2003) .
- 14) 夫 律子, 8.出生前診断の再評価: いまどこまでわかるのか :2) 胎児超音波診断 (<II.クリニカルカンファレンス>), 日本産科婦人科学会雑誌, Vol.54, No.9, pp.380-385 (2002) .
- 15) 馬場一憲: 出生前超音波検査一何を見て? 何が分かる? 2D, 3D, 4D-, 日本未熟児新生児学会雑誌, Vol.19, No.1, pp.43-46 (2007) .
- 16) 梁栄治, 松原茂樹: 胎児のサインにまつわる最新のトピックス 胎動再考 何が分かる?どうとらえる? (第6回) 自宅で使用できる胎動計 FMAM recorderの開発, ペリネイタルケア, Vol.29, No.12, pp.50-53 (2010) .
- 17) Nishihara K, Ohki N, Kamata H, Ryo E, Horiuchi S: Automated Software Analysis of Fetal Movement Recorded during a Pregnant Woman's Sleep at Home, Plos One, DOI:10.1371/journal.pone.0130503 (2015) .
- 18) Takayuki Kosaka, Yusuke Sasayama, Takuya Iwamoto, Junichi Akita: Mommy Tummy" Development of a pregnancy experience system, Proceeding of Virtual Reality International Conference (VRIC2010), pp.287-290 (2010) .
- 19) 小坂崇之, 笹山裕輔, 岩本拓也: 妊婦体験ジャケット「MommyTummy」の開発, 情報処理学会 インタラクシオン 2010 論文集, pp.89-92 (2010) .
- 20) Takayuki Kosaka, Takuya Iwamoto, Robert Songer, Junichi Akita: Mommy Tummy: A Pregnancy Experience System Simulating Fetal Movement, SIGGRAPH 2011 Emerging Technologies (2011) .
- 21) The Hug Belt, <https://www.huggies.com/en-us/why-huggies/hug-belt>
- 22) 宮本昭子, 西野加代子, 岸英子: 妊婦の呼吸管理に関する一考察, 日本母性衛生学会論文誌, Vol.24, No.3, pp.31-33 (1983) .